

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10041733
PUBLICATION DATE : 13-02-98

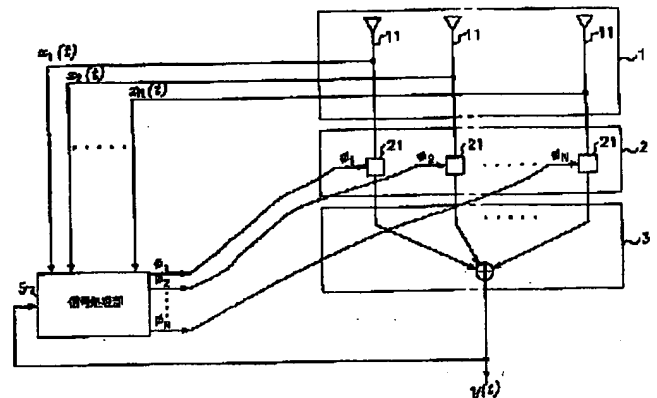
APPLICATION DATE : 18-04-97
APPLICATION NUMBER : 09101999

APPLICANT : SAI SHOGEN;

INVENTOR : DON UN YUN;

INT.CL. : H01Q 3/26 H01Q 21/22 H04B 1/40

TITLE : ARRAY ANTENNA, DESIGN METHOD THEREFOR, SIGNAL PROCESSING METHOD IN ARRAY ANTENNA AND SIGNAL TRANSMISSION/ RECEPTION DEVICE AND METHOD UTILIZING THE SAME



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To remarkably reduce the influence by interference signals, to increase communication capacity, to remarkably reduce the strength of additional noise and to improve communication quality by adopting an optimum array antenna and further increasing the difference of a source signal level to an interference signal level.

SOLUTION: A signal processing part 5 for processing the output value of a delay signal, addition part 3 in a present snap shot and a signal vector obtained in this array antenna 1 and providing a phase delay part 2 with an appropriate phase delay value is provided. Then, the difference of the source signal level to the interference signal level is further increased in a signal environment where the reception level of source signals is higher than the reception level of the respective interference signals. Thus, since a phase delay vector for forming a beam pattern for providing a maximum gain in the direction of desired signals is calculated and the signals are received, the difference of the sizes of the desired signals and the interference signals is enlarged further and an interference effect is substantially reduced. Especially, the signal environment itself is suited in the case that the interference signals are remarkably larger than the desired signals.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-41733

(43)公開日 平成10年(1998) 2月13日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所	
H 0 1 Q	3/26		H 0 1 Q	3/26	Z
	21/22			21/22	C
H 0 4 B	1/40		H 0 4 B	1/40	

審査請求 未請求 請求項の数85 O L (全 47 頁)

(21)出願番号 特願平9-101999

(22)出願日 平成9年(1997) 4月18日

(31)優先権主張番号 1 9 9 6 - 1 2 1 7 2

(32)優先日 1996年4月18日

(33)優先権主張国 韓国 (K R)

(71)出願人 595038176

崔 勝元

大韓民国ソウル特別市道峰區雙門4洞漢陽
アパート52-1111

(72)発明者 崔 勝 元

大韓民国ソウル特別市道峰區双門4洞漢陽
アパート52棟1111戸

(72)発明者 ドン ウン ユン

大韓民国 カン-ウォン ド ウォン-ジ
ユー シ フェウン-ウプ ミエオン フ
ェウン-ウプ リ 587-7

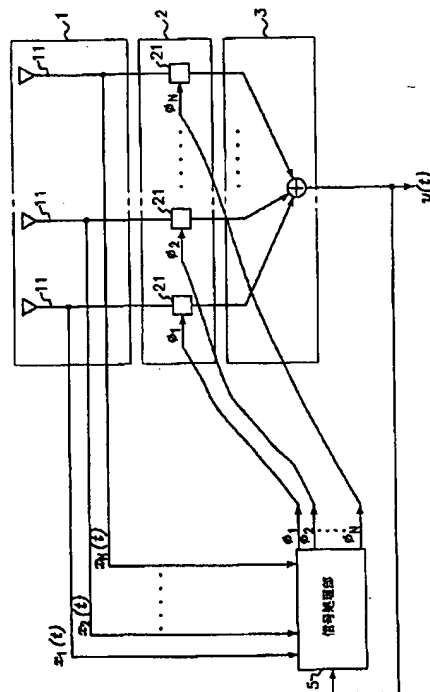
(74)代理人 弁理士 三好 秀和 (外1名)

(54)【発明の名称】 配列アンテナ及びその設計方法と、配列アンテナでの信号処理方法と、それを利用した信号送受信装置及び方法

(57)【要約】

【課題】 理想的なビームパターンをもつ最適の配列アンテナとそれを設計する方法を提供する。

【解決手段】 本発明は無線通信技術に利用される配列アンテナに関するもので、特に最適配列アンテナの設計とそれを利用して干渉及び雑音の影響を減らして通信品質を向上させて通信容量を増加させる信号送受信装置及び方法に関するものであり、原信号の受信レベルが干渉信号各々の受信レベルより高い信号環境で原信号レベル対干渉信号レベルの差異を更に増加させて、付加雑音の強さを著しく減少させられる。そして、受信装置で求めた位相遅延ベクトルを送信装置にもそのまま使うから、送信信号の望まれる方向にだけ最大の利得に放射させて、その他の方向には相対的に更に小さい利得に放射させられる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の配列と間隔に設置される多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナにおいて、受信モードでは出力される受信信号を最大にする位相遅延ベクトル値を上記各アンテナ素子などに誘起される信号に加えて、送信モードでは上記受信モードで加えられる位相遅延ベクトル値と同じ位相遅延ベクトル値を上記各アンテナ素子などの送信希望信号に加えて上記受信モードと同じビームパターンに送出するように信号を処理する手段を含むことを特徴とする信号送受信のための配列アンテナ。

【請求項2】 所定の配列と間隔に設置される多数のアンテナ素子などを具備した配列アンテナにおいて、受信モードでは出力される受信信号を最大にする利得ベクトル値を上記各アンテナ素子などに誘起される信号にかけて、送信モードでは上記受信モードでの利得ベクトルの各要素の位相値になれた位相遅延ベクトル値を上記各アンテナ素子などの送信希望信号に加えて上記受信モードと同じビームパターンに送出するように信号を処理する手段を含むことを特徴とする信号の送受信のための配列アンテナ。

【請求項3】 信号の受信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子の各々に誘起される信号に各々位相遅延ベクトルの該当要素値を加えるようにするが、上記各アンテナ素子に誘起された信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルの各要素の位相値を上記位相遅延ベクトルの値に定めることを特徴とする配列アンテナ設計方法。

【請求項4】 上記位相遅延ベクトルの値を決定するにおいて、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターンの特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを常数倍して上記位相遅延ベクトルの値を決定することを特徴とする請求項3記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項5】 上記位相遅延ベクトルの値を定めるにおいて、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターンの特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを正規化 (normalization) して上記位相遅延ベクトルの値を決定することを特徴とする請求項3記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項6】 現在のスナップショットでの上記自己相関行列は、直前のスナップショットでの上記自己相関行列に大きさが0から1の間の忘却因子をかけた値に現在のスナップショットでの上記各アンテナ素子に誘起された信号などから得られた信号ベクトルで計算する下記式による信号行列を足して求めることを特徴とする請求項3記載の配列アンテナ設計方法。

【数1】 $R_x(J+1) = f \cdot R_x(J) + x((J+1)Ts) x^H((J+1)Ts)$

(但し、 $R_x(J+1)$ と $R_x(J)$ は各々J+1番目とJ番目のスナップショットの自己相関行列で、fは0と1の間の値を取る忘却因子で、Tsはスナップショット周期で、上添字Hはハミシヤン (Hermitian) 演算子である。)

【請求項7】 上記最大固有値に対応する固有ベクトルは、最初スナップショットでは上記各アンテナ素子に誘起された信号などの間の位相差を無くすように上記位相遅延ベクトルを決定するために、基準アンテナに誘起された信号には0位相を加えて、各上記アンテナ素子の信号などに対しては此後位相をもつ隣接した上記アンテナ素子との位相差ほど位相遅延を加えるように上記位相遅延ベクトルの値を決めて、二番目のスナップショット以後からは直前のスナップショットでの上記位相遅延ベクトルを更新して求めて、毎スナップショットで上記基準アンテナ素子に誘起される信号に加える位相遅延を0に維持して上記自己相関行列のレーリー商 (Rayleigh quotient) が最大になるように更新して求めることを特徴とする請求項3記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項8】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、毎スナップショットごとに位相が一番遅い信号が誘起されるアンテナ素子に決定することを特徴とする請求項7記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項9】 上記基準アンテナは、上記多数のアンテナ素子中、現在のスナップショットで通信しようとする信号源との物理的距離が一番遠いところに位置したアンテナ素子に決定することを特徴とする請求項7記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項10】 信号の送信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子などに印加される信号に各々位相遅延ベクトルの該当要素値を加えるようにして、上記位相遅延ベクトルの値は受信信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルから定めることを特徴とする配列アンテナ設計方法。

【請求項11】 上記位相遅延ベクトルの値を定めるにおいて、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターンの特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを常数倍して上記位相遅延ベクトルの値を決定することを特徴とする請求項10記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項12】 上記位相遅延ベクトルの値を決定するにおいて、最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターンの特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを正規化 (normalization) して上記

位相遅延ベクトルの値を決定することを特徴とする請求項10記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項13】 現在のスナップショットでの上記自己相関行列は、直前スナップショットでの上記自己相関行列に大きさが0から1の間の忘却因子をかけた値に現在のスナップショットでの上記各アンテナ素子に誘起された信号などから得られた信号ベクトルに計算する下記式による信号行列を足して求めることを特徴とする請求項10記載の配列アンテナ設計方法。

【数2】
$$\underline{R}_x(J+1) = f \cdot \underline{R}_x(J) + \underline{x}((J+1)Ts) \underline{x}^H((J+1)Ts)$$

(但し、 $\underline{R}_x(J+1)$ と $\underline{R}_x(J)$ は各々J+1番目とJ番目のスナップショットの自己相関行列で、fは0と1の間の値を取る忘却因子で、Tsはスナップショット周期で、上添字Hはハミシヤン(Hermitian)演算子である。)

【請求項14】 上記最大固有値に対応する固有ベクトルは、最初スナップショットでは上記各アンテナ素子に誘起された信号などの間の位相差を無くすように上記位相遅延ベクトルを決定するために、上記基準アンテナに誘起された信号には0位相を加えて各上記アンテナ素子の信号などに対しては此後位相をもつ隣接した上記アンテナ素子との位相差ほど位相遅延を加えるように上記位相遅延ベクトルの値を決めて、二番目スナップショット以後からは直前スナップショットでの上記位相遅延ベクトルを更新して求めて、毎スナップショットで上記基準アンテナ素子に誘起される信号に加える位相遅延を0に維持して上記自己相関行列の上記レーリー商(Rayleigh quotient)が最大になるように更新して求めることを特徴とする請求項10記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項15】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、毎スナップショットごとに位相が一番はやい信号が放射されるアンテナ素子に決定することを特徴とする請求項14記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項16】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、現在のスナップショットで通信しようとする信号源との物理的距離が一番遠いところに位置したアンテナ素子に決定することを特徴とする請求項14記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項17】 配列アンテナで所望の信号方向への利得は最大にして、その他の方向には利得を最小化するビームパターンをもつための信号処理方法において、初期には基準アンテナ素子に加える位相を0にして、上記基準アンテナ以外のアンテナ素子に加える位相は各々のアンテナ素子に誘起される信号と上記基準アンテナ素子に誘起される信号との位相差と同じようにして各アンテナ素子間の位相差を無くすように初期位相ベクトル($\phi(0)$)を設定する(203)第1段階と、位相遅延ベクトルに基づいて信号が送受信されるように

する(205)第2段階と、

現在のスナップショットが最終スナップショットかどうかを確認して(207)、最終スナップショットなら終了して、最終スナップショットではなければ、次のスナップショットを設定した後(209)、新しいスナップショットで受信された信号に自己相関行列を更新して(211)、更新された自己相関行列の最大固有値(λ_{max})に相応する固有ベクトルの位相値に近接されるように位相遅延ベクトルを更新する(213)第3段階と、

再び上記第2段階(205)に進行して、最終スナップショットまで順に上記第2及び第3段階(205、207、209、211、213)が反復遂行されるようにする第4段階を含むことを特徴とする配列アンテナでの位相遅延ベクトルを利用した信号処理方法。

【請求項18】 信号の受信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子の各々に誘起される信号に各々位相遅延を加えるようにして、上記各アンテナ素子に誘起された信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルを定めて受信出力信号を生成するように設計することを特徴とする配列アンテナ設計方法。

【請求項19】 上記受信出力信号生成は、上記利得ベクトルの各要素を上記各アンテナ素子に誘起される信号とかけた後、そのかけた結果などを足して生成することを特徴とする請求項18記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項20】 上記受信出力信号の生成は、上記利得ベクトルの各要素の複素共役を上記アンテナ素子に誘起される信号とかけた後、そのかけた結果などを足して生成することを特徴とする請求項18記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項21】 上記利得ベクトルの値は、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターンの特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを常数倍して決定することを特徴とする請求項18記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項22】 上記利得ベクトルの値は、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターン特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするための、上記最大固有値の固有ベクトルを正規化(normalization)して決定することを特徴とする請求項18記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項23】 現在のスナップショットでの上記自己相関行列は、直前スナップショットでの上記自己相関行列に大きさが0から1の間の忘却因子をかけた値に現在のスナップショットでの上記各アンテナ素子に誘起された信号などから得られた信号ベクトルに計算する下記式による信号行列を足して求めることを特徴とする請求項18記載の配列アンテナ設計方法。

【数3】 $\underline{R}x(J+1) = f \cdot \underline{R}x(J) + \underline{x}((J+1)Ts) \underline{x}H((J+1)Ts)$

(但し、 $\underline{R}x(J+1)$ と $\underline{R}x(J)$ は各々J+1番目とJ番目のスナップショットの自己相関行列で、fは0と1の間の値を取る忘却因子で、Tsはスナップショット周期で、上添字Hはハミシヤン(Hermitian)演算子である。)

【請求項24】 上記最大固有値に対応する固有ベクトルは、最初スナップショットでは上記各アンテナ素子に誘起された信号などの間の位相差異を無くすように上記利得ベクトルを決定するために、基準アンテナに誘起された信号には変化を加えないように、各上記アンテナ素子の信号などに対しては此後位相をもつ隣接した上記アンテナ素子との位相差ほど位相遅延を加えるように上記利得ベクトルの値を定めて、二番目スナップショット以後からは直前のスナップショットでの上記利得ベクトルを更新して求めて、毎スナップショットで上記基準アンテナ素子に誘起される信号にかけると利得値は実数(real number)に維持して上記自己相関行列のレーリー商(Rayleigh quotient)が最大になるように更新して求めることを特徴とする請求項18記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項25】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、毎スナップショットごとに位相が一番遅い信号が誘起されるアンテナ素子に定めることを特徴とする請求項24記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項26】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、現在のスナップショットで通信しようとする信号源との物理的な距離が一番遠いところに位置したアンテナ素子に定めることを特徴とする請求項24記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項27】 信号の送信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子に印加される信号に各々利得ベクトルの該当要素値をかけるようにするが、上記利得ベクトルの値は受信信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルに定めることを特徴とする配列アンテナ設計方法。

【請求項28】 上記利得ベクトルの値を定めるにおいて、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターン特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを常数倍して上記利得ベクトルの値を決定することを特徴とする請求項27記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項29】 上記利得ベクトルの値を定めるにおいて、上記最大固有値に対応する上記固有ベクトルのビームパターン特性に影響を与えずに局所的な変化だけを加えるようにするために、上記最大固有値の固有ベクトルを正規化(normalization)して上記利得ベクトルの値を決定することを特徴とする請求項27記

載の配列アンテナ設計方法。

【請求項30】 現在のスナップショットでの上記自己相関行列は、直前スナップショットでの上記自己相関行列に大きさが0から1の間の忘却因子をかけた値に現在のスナップショットでの上記各アンテナ素子に誘起された信号などから得られた信号ベクトルに計算する下記式による信号行列を足して求めることを特徴とする請求項27記載の配列アンテナ設計方法。

【数4】 $\underline{R}x(J+1) = f \cdot \underline{R}x(J) + \underline{x}((J+1)Ts) \underline{x}H((J+1)Ts)$

(但し、 $\underline{R}x(J+1)$ と $\underline{R}x(J)$ は各々J+1番目とJ番目のスナップショットの自己相関行列で、fは0と1の間の値を取る忘却因子で、Tsはスナップショット周期で、上添字Hはハミシヤン(Hermitian)演算子である。)

【請求項31】 上記最大固有値に対応する固有ベクトルは、最初スナップショットでは上記各アンテナ素子に誘起された信号などの間の位相差異を無くすように上記利得ベクトルを決定するために、上記基準アンテナに誘起された信号には実数(real number)をかけて各上記アンテナ素子の信号などに対しては此後位相をもつ隣接した上記アンテナ素子との位相差ほど位相遅延を加えるように上記利得ベクトルの値を決めて、二番目スナップショット以後からは直前のスナップショットでの上記利得ベクトルを更新して求めて、毎スナップショットで上記基準アンテナ素子に誘起される信号にかけると利得値は実数に維持して上記自己相関行列の上記レーリー商(Rayleigh quotient)が最大になるように更新して求めることを特徴とする請求項27記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項32】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、毎スナップショットごとに位相が一番早い信号が放射されるアンテナ素子に決定することを特徴とする請求項31記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項33】 上記基準アンテナ素子は、上記多数のアンテナ素子中、現在のスナップショットで通信しようとする信号源との物理的な距離が一番遠いところに位置したアンテナ素子に定めることを特徴とする請求項31記載の配列アンテナ設計方法。

【請求項34】 配列アンテナで所望の信号方向への利得は最大にして、その他の方向には利得を最小化するビームパターンをもつようにするための信号処理方法において、各アンテナ素子に誘起された信号間の位相差を無くすように初期利得ベクトル($\underline{w}(0)$)を設定する

(202)第1段階と、
設定された利得ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする(204)第2段階と、
現在のスナップショットが最終スナップショットかどうかを確認して(206)、最終スナップショットなら終了して、最終スナップショットでなければ、次のスナッ

ブショットを設定した後(208)、入力受信信号に基づいて自己相関行列を更新してから(210)、自己相関行列の最大固有値(λ_{\max})に相応する固有ベクトルに近接されるように利得ベクトルを更新する(211)第3段階と、

上記更新された利得ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする第2段階(204)に進行して、最終スナップショットまで順次的に上記第2及び第3段階(204、206、208、210、212)が反復遂行されるようにする第4段階を含むことを特徴とする配列アンテナでの利得ベクトルを利用した信号処理方法。

【請求項35】 配列アンテナを利用した信号受信装置において、多数のアンテナ素子(11)を具備して所定の位置と間隔に配列されて受信信号を入力され後端に提供する配列アンテナ(1)と、

上記配列アンテナ(1)から信号を入力され上記各アンテナ素子に誘起された信号を望まれるほど位相遅延させる多数の位相遅延素子(21)を具備した位相遅延手段(2)と、

上記位相遅延手段(2)を通じて各其適切に位相遅延された各々の信号などを互いに足して上記配列アンテナの出力値を算出する遅延信号加算手段(3)と、

現在のスナップショットでの上記遅延信号加算手段(3)の出力値と上記配列アンテナ(1)で得られた信号ベクトルを処理して適切な位相遅延値を上記位相遅延手段(2)に提供する信号処理手段(5)を含むことを特徴とする配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項36】 上記信号処理手段(5)は、上記多数のアンテナ素子(11)と上記遅延信号加算手段(3)の出力と直前のスナップショットでの位相遅延ベクトルが入力されるように連結されて、上記位相遅延手段(2)を形成する多数の位相遅延素子(21)がその出力端に各々連結された誤差ベクトル合成手段(51)と、

上記誤差ベクトル合成手段(51)の一侧出力端に連結されたスカラー合成手段(52)と、

上記誤差ベクトル合成手段(51)の他側出力端と上記スカラー合成手段(52)の出力端に連結された追跡方向ベクトル合成手段(53)と、

上記多数のアンテナ素子(11)と上記遅延信号加算手段(3)と上記追跡方向ベクトル合成手段(53)の出力と直前スナップショットでの位相遅延ベクトルが入力されるように連結された適応利得合成手段(54)と、上記追跡方向ベクトル合成手段(53)と上記適応利得合成手段(54)の出力端にその入力端が連結されて出力端は上記位相遅延手段(2)を形成する多数の位相遅延素子(21)に各々連結された位相遅延ベクトル更新手段(55)を含むことを特徴とする請求項35記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項37】 上記誤差ベクトル合成手段(51)

は、毎スナップショットで上記各アンテナ素子(11)に誘起された信号などを上記位相遅延ベクトルに基づいて位相遅延させた結果ベクトルの各要素の値を互いに足して得る上記配列アンテナの受信出力値($y(t)$)を掛ける乗算手段(511)と、

上記各アンテナ素子(11)に誘起された信号から得る信号ベクトル($x(t)$)の各要素に上記配列アンテナの受信出力値($y(t)$)をかける多数の乗算手段(512)と、

上記乗算手段(511)によって掛けられた出力値を上記位相遅延ベクトルの各要素値ほど位相遅延させる多数の位相遅延素子(513)と、

上記多数の位相遅延素子(513)を通じて位相遅延させて得るベクトル値から、上記乗算手段(512)などによってかけられた結果のベクトル値をひく多数の加算手段(514)を含むことを特徴とする請求項36記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項38】 上記スカラー合成手段(52)は、現在のスナップショットでの誤差ベクトルの各要素の大きさを掛ける多数の乗算手段(521)と、

上記誤差ベクトルの各要素の乗算値を全部足す加算手段(522)出力で現在のスナップショットでの上記加算手段(522)出力を割る除算手段(525)と、

上記除算手段(525)の結果出力に負符号(磨)を加える符号変換手段(526)を含むことを特徴とする請求項36記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項39】 上記追跡方向ベクトル合成手段(53)は、上記誤差ベクトル合成手段(51)の各誤差ベクトル要素($r_1 \dots r_N$)出力端に各々入力端が連結されてその出力端に追跡方向ベクトル($v_1 \dots v_N$)を出力する多数の加算手段(531)と、

一入力端には上記加算手段(531)を通じて出力される上記追跡方向ベクトルの各要素についての直前のスナップショットでの値を入力され他の一入力端には上記スカラー値(β)を入力され掛けした後その結果値を上記加算手段(531)に出力する多数の乗算手段(532)を含むことを特徴とする請求項36記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項40】 上記適応利得合成手段(54)は、上記信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の各要素と上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などを順に連結した多数の乗算手段(541b)と、

上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などを自乗するための多数の乗算手段(541a)と、

上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などの自乗値などを互いに足すための加算手段(543a)と、

上記追跡方向ベクトル(\underline{u})を現在のスナップショットでの上記位相遅延ベクトル(ϕ)ほど位相遅延させるための多数の位相遅延素子(542)と、

上記位相遅延された追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素値

などを互いに足すための加算手段(543b)と、上記多数の乗算手段(541b)の出力を互いに足すための加算手段(543c)と、上記加算手段(543c)の出力を掛けるための乗算手段(545)と、現在のスナップショットでの配列アンテナ出力値を掛けるための乗算手段(546)と、上記加算手段など(543a)(543b)と上記乗算手段など(544)(545)(546)の出力端に各々連結された適応利得計算手段(547)を含むことを特徴とする請求項36記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項41】 上記加算手段(543c)の出力をAとし、上記Aと上記配列アンテナの受信出力値(y(t))を上記乗算手段(545)出力をBとし、上記A値を上記乗算手段(544)に掛けた値をCとし、上記加算手段(543b)の出力をDとし、上記加算手段(543a)の出力をEとし、上記CとDの乗算値から上記EとBを掛けた値を引いたものをFとし、上記Eと配列アンテナ受信出力値の自乗(y²(t))との乗算値を上記Cから引いた結果をGとして、上記Bから上記配列アンテナ受信出力値の自乗(y²(t))をDと掛けた結果を引いたものをHとするとき、上記適応利得計算手段(547)は、Gの自乗からFとGを掛けたものの4倍を引いた結果の平方根(square root)を-Gから引いたものをさらにFの2倍に分けた結果値(ρ)

【数5】

$$\rho = \frac{-G - \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F}$$

(但し、F=CD-BE、G=C-y²(t)E、H=B-y²(t)Dである。)を適応利得値に出力することを特徴とする請求項40記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項42】 上記位相遅延ベクトル更新手段(55)は、上記追跡方向ベクトルの各要素(v1...vN)の出力端ごとに、上記該当追跡方向ベクトル要素(vi)に上記適応利得合成手段(54)から出力される適応利得値(ρ)をかける乗算手段(551)と、上記受信信号(x(t))のキャリア周波数の信号を発生させる発振手段(osc)の出力信号を直前のスナップショットでの位相遅延ベクトル(φ)の各要素ほど位相遅延させるための多数の位相遅延素子(552)と、上記乗算手段(551)の出力と上記位相遅延素子(552)の出力を足すための多数の加算手段(553)と、上記加算手段(553)の結果値から現在のスナップショットで使われる各要素の位相遅延を算出する位相検出手段(554)を含むことを特徴とする請求項36記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項43】 上記位相遅延ベクトル更新手段(5

5)は、毎スナップショットごとに上記位相検出手段(554)で計算された上記位相遅延ベクトルの一番目の要素(φ1)と最後の要素(φN)の大きさを比較して大きさが小さい要素を選ぶ選択素子(555)と、上記位相検出手段(554)の出力値で上記選択素子(555)によって選択された値を引いてから出力する加算手段(556)を含めて位相遅延ベクトル値を出力することを特徴とする請求項41記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項44】 配列アンテナを利用した信号送信装置において、

送信希望信号を信号処理手段から上記配列アンテナの各アンテナ素子(12)に順に一つずつ提供される該当位相ベクトル(φ1...φN)の各要素ほど遅延させた後、上記配列アンテナの該当アンテナ素子(12)に印加する多数の遅延素子(22)を含むことを特徴とする配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項45】 上記遅延素子(22)の各々に正規化された該当位相遅延ベクトル値を提供するために、毎スナップショットごとに位相遅延ベクトルの一番目の要素(φ1)と最後の要素(φN)の大きさを比較して、大きさが小さい要素を選択する選択素子(23)と、該当位相遅延ベクトル値で上記選択素子(23)によって選択された値をひいて出力する加算手段(556)を含むことを特徴とする請求項44記載の配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項46】 多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送受信方法において、上記配列アンテナを利用して初期信号を受信して(1202)、初期位相ベクトル(φ(0))を設定する(1204)第1段階と、受信時配列アンテナの各アンテナ素子に設定された位相ベクトル(φ)ほどの位相遅延を加えて信号を受信して(1208)、送信時設定された位相ベクトル(φ)ほど上記配列アンテナの各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する(1210)第2段階と、

通信終了時(1212)まで上記第2段階から反復遂行されるように、次のスナップショットを設定して(1214)上記アンテナ配列で信号を受信するようにして(1216)、自己相関行列の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように位相遅延ベクトル(φ)を更新する(1226)第3段階を含むことを特徴とする配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項47】 上記第1段階遂行後、現在の動作モードが受信モードか、それとも送信モードかを確認する(1206)第4段階を含むことを特徴とする請求項46記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項48】 受信された信号を瞬時値だけで処理するかどうかを確認して(1218)、瞬時値だけで処理する場合は忘却因子(f)を'0'にして(122

0)、そうでない場合は忘却因子を適切に設定する(1222)第5段階と、

現在のスナップショットでの受信信号ベクトル($\underline{x}(k)$)に信号行列($\underline{x}(k)$ $\underline{x}_H(k)$)を構成して、その信号行列の各要素などを直前スナップショットでの自己相関行列($R(k)$ 魔P))の各要素に上記忘却因子(f)をかけた値に各々足して、自己相関行列を更新する(1224)第6段階をさらに含むことを特徴とする請求項46又は47記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項49】 上記位相遅延ベクトル(ϕ)は、各アンテナ素子に誘起された信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルの各要素の位相値、またはこれと等価の受信希望信号の電力が最大になるようにするベクトル値に決められることを特徴とする請求項46記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項50】 上記位相遅延ベクトル(ϕ)を求める過程は、毎スナップショットでの位相遅延ベクトルを直前のスナップショットごとの追跡方向ベクトルと適応利得を互いにかける段階と、

上記追跡方向ベクトルと上記適応利得を互いにかけた後、その掛け算の結果を直前のスナップショットでの上記位相遅延ベクトルほど位相遅延された信号に足す段階と、

上記位相遅延された信号に足す段階の結果信号にあらわれる位相を現在のスナップショットでの上記位相遅延ベクトルにしてこのとき基準アンテナ素子に加える位相が毎スナップショットで0になるように正規化する段階を含むことを特徴とする請求項49記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項51】 上記適応利得は、毎スナップショットでの上記自己相関行列のレーリー商の上記適応利得についてグレイディエント(上記レーリー商を上記適応利得に偏微分して得られたベクトル)が0になるようにする値で、上記追跡方向ベクトルは、最初のスナップショットでは最初の位相遅延ベクトルが誘発する誤差ベクトルの値を初期追跡方向ベクトルにして二番目スナップショットからは上記誤差ベクトルを直前のスナップショットでの追跡方向ベクトルに所定のスカラー値をかけた結果を足して得る値とすることを特徴とする請求項50記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項52】 上記誤差ベクトルは、毎スナップショットでの最大固有値を現在の上記位相遅延ベクトルほど位相遅延させたベクトル値から、現在の上記自己相関行列に上記位相遅延ベクトルをかけたベクトルを引いた値に決められることを特徴とする請求項51記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項53】 上記誤差ベクトルは、毎スナップショットで上記各アンテナ素子に誘起された信号などを上記位相遅延ベクトルに基づいて位相遅延させた結果ベクトル

の各要素の値を互いに足して得る上記配列アンテナの出力値を自乗して、その自乗値を上記位相遅延ベクトルに位相遅延させて得るベクトル値から、毎スナップショットでの上記各アンテナ素子に誘起された信号から得る信号ベクトルに上記配列アンテナの上記出力値をかけた結果のベクトル値を引いて得る値に決定することを特徴とする請求項51記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項54】 上記誤差ベクトルは、毎スナップショットで上記各アンテナ素子に誘起された信号などを上記位相遅延ベクトルに基づいて位相遅延させた結果ベクトルの各要素の値を互いに足して得る上記配列アンテナの出力値を周波数低域遷移、復調などの受信処理をした後、その結果を自乗して、その自乗値を上記位相遅延ベクトルに位相遅延させて得るベクトル値から、毎スナップショットでの上記各アンテナ素子に誘起された信号を別の上記受信処理をして得た信号ベクトルに上記配列アンテナの上記出力値をかけた結果のベクトル値に決定することを特徴とする請求項51記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項55】 上記スカラー値は、毎スナップショットごとに上記追跡方向ベクトルが以前の上記追跡方向ベクトルと毎スナップショットで上記自己相関行列について直交されるようにすることを特徴とする請求項51記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項56】 上記スカラー値は、現在のスナップショットでの上記誤差ベクトルの各要素の大きさの自乗を全部足した結果を直前のスナップショットでの上記誤差ベクトルの各要素の大きさの自乗を全部足した結果で割って、その割った結果に負符号を加えてその結果に決められることを特徴とする請求項51記載の配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【請求項57】 配列アンテナを利用した信号受信装置において、多数のアンテナ素子など(11)を具備して所定の位置と間隔に配列されて各アンテナ素子に誘起される受信信号を後端に印加する配列アンテナ(1)と、上記各アンテナ素子に誘起されて上記配列アンテナ(1)から出力される信号ベクトルに対して周波数低域遷移、復調などの信号受信に必要な処理を行って毎スナップショットごとに信号ベクトルを合成する受信手段(7)と、

上記受信手段(7)から出力される信号ベクトルの各要素($x_1 \cdots x_N$)と適切な値の利得ベクトルを内積して配列アンテナの出力値($y(t)$)を合成する内積計算手段(8)と、

上記受信手段(7)から出力される信号ベクトルの各要素($x_1 \cdots x_N$)を上記内積計算手段(8)の出力値($y(t)$)を利用して処理して適切な利得ベクトル値($w_1 \cdots w_N$)を求めた後、上記内積計算手段(8)に提供する信号処理手段(9)を含むことを特徴

とする配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項58】 上記受信手段(7)は、該当アンテナ素子に誘起された信号にキャリア周波数のコサイン成分($\cos(2\pi fct)$)をかける第1乗算手段(71)と、
上記該当アンテナ素子に誘起された信号にキャリア周波数のサイン成分($\sin(2\pi fct)$)をかける第2乗算手段(72)と、
上記第1乗算手段(71)の出力端に連結されて低域成分の周波数だけを通過させる第1低域通過濾波手段(73)と、
上記第2乗算手段(72)の出力端に結ばれて低域成分の周波数だけを通過させる第2低域通過濾波手段(74)と、
上記第1、第2低域通過濾波手段(73、74)の出力を足す加算手段(78)をアンテナ素子ごとに各々具備させたことを特徴とする請求項57記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項59】 上記受信手段(7)は、該当アンテナ素子に誘起された信号にキャリア周波数のコサイン成分($\cos(2\pi fct)$)をかける第1乗算手段(71)と、
上記該当アンテナ素子に誘起された信号にキャリア周波数のサイン成分($\sin(2\pi fct)$)をかける第2乗算手段(72)と、
上記第1乗算手段(71)の出力端に連結されて低域成分の周波数だけを通過させる第1低域通過濾波手段(73)と、
上記第2乗算手段(72)の出力端に結ばれて低域成分の周波数だけを通過させる第2低域通過濾波手段(74)と、
上記第1低域通過濾波手段(73)で出力された各信号のコサイン(In-Phase)成分を受信希望信号に多重されているチップコードと関連させる第1相関手段(75)と、
上記第2低域通過濾波手段(74)で出力された各信号のサイン(Quadrature)成分を受信希望信号に多重されているチップコードと関連させる第2相関手段(76)と、
上記第1相関手段(75)の出力と上記第2相関手段(76)の出力を足す加算手段(78)をアンテナ素子ごとに各々具備させたことを特徴とする請求項57記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項60】 上記受信手段(7)は、当該アンテナ素子(11)に誘起された信号を中間周波数に低域遷移する中間周波数遷移手段(79)と、
上記中間周波数遷移手段(79)から出力される低域遷移された信号を復調する復調手段(80)と、
上記復調手段(80)で出力された各信号のコサイン(\cos)成分及びサイン(\sin)成分を足す加算手

段(78)をアンテナ素子ごとに各々具備させたことを特徴とする請求項57記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項61】 上記受信手段(7)は、当該アンテナ素子(11)に誘起された信号を中間周波数に低域遷移する中間周波数遷移手段(79)と、
上記中間周波数遷移手段(79)から出力される低域遷移された信号を復調する復調手段(80)と、
上記復調手段(80)で出力された各信号のコサイン(\cos)成分を受信希望信号に多重されているチップコード($qI_j(t)$)と関連させる第1相関手段(75)と、
上記復調手段(80)で出力された各信号のサイン(\sin)成分を受信希望信号に多重されているチップコード($qQ_j(t)$)と関連させる第2相関手段(76)と、
上記第1及び第2相関手段(75、76)の出力を足す加算手段(78)をアンテナ素子ごとに各々具備させたことを特徴とする請求項57記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項62】 信号処理手段(9)は、毎スナップショットごとに上記信号手段(7)から出力される上記信号ベクトル($\underline{x}(t)$)と上記内積計算手段(8)からの出力値($y(t)$)と現在のスナップショットでの利得ベクトル値(\underline{w})を入力され誤差ベクトルを計算して出力する誤差ベクトル合成手段(91)と、
上記誤差ベクトル合成手段(91)から誤差ベクトルを入力され追跡方向ベクトルの合成に必要なスカラー値を合成して出力するスカラー合成手段(92)と、
上記誤差ベクトル合成手段及び上記スカラー合成手段の出力を入力され上記追跡方向ベクトルを合成して出力する追跡方向ベクトルスカラー合成手段(93)と、
上記信号ベクトル($\underline{x}(t)$)、追跡方向ベクトル(\underline{v})、内積計算手段(8)の出力値(y)、及び上記現在のスナップショットでの利得ベクトル値(\underline{w})を各々入力され毎スナップショットごとの適応利得を求めて出力する適応利得合成手段(94)と、
現在のスナップショットでの追跡方向ベクトル及び適応利得値を各々入力され利得ベクトルを更新する利得ベクトル更新手段(95)を含むことを特徴とする請求項57記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項63】 上記誤差ベクトル合成手段(91)は、上記内積計算手段(8)からの出力される出力値($y(t)$)の大きさをかけるための乗算手段(911)と、
上記信号手段(7)から印加される信号ベクトルの各要素に上記内積計算手段(8)からの出力される出力値($y(t)$)の複素共役をかけるための多数の乗算手段(912)と、
上記乗算手段(911)によってかけられた出力値を利

得ベクトルの各要素にかけるための多数の乗算手段(913)と、

上記利得ベクトルの各要素に割当された乗算手段(913)の該当要素出力値で上記信号ベクトルの各要素に割当された乗算手段(912)の各出力値をひくための減算手段(914)を含むことを特徴とする請求項6記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項64】 上記適応利得合成手段(94)は、上記受信信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の各要素を複素共役して上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などと次々にかけるための多数の乗算手段(914)と、

上記乗算手段(914)の出力を互いに足すための加算手段(946)と、上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などの絶対値掛けを求めるための多数の乗算手段(942)と、

上記乗算手段(942)の出力を互いに足すための加算手段(945)と、

上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素と上記利得ベクトルの各要素の複素共役を順にかけるための多数の乗算手段(943)と、

上記乗算手段など(943)の出力を互いに足すための加算手段(944)と、

上記加算手段(946)の出力をかけるための乗算手段(949)と、

上記内積計算手段(8)の出力値($y(t)$)と上記加算手段(946)の出力をかけるための乗算手段(947)と、

上記内積計算手段(8)の出力値($y(t)$)について絶対値掛けを求めるための乗算手段(948)と、

上記乗算手段(944、945)及び乗算手段(947、948、949)の出力端に各々連結された適応利得計算手段(950)を含むことを特徴とする請求項6記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項65】 信号ベクトルと追跡方向ベクトルを内積した結果(加算手段(946)出力)をAとし、上記Aと配列アンテナの出力値をかけた結果(乗算手段(947)出力)をBとし、上記Aの自乗(乗算手段(949)出力)をCとして、利得ベクトルと追跡方向ベクトルを内積した結果(加算手段(944)出力)をDとして、追跡方向ベクトルとそれ自身の内積(加算手段(945))をEとすると、上記適応利得計算手段(950)では、下記式によって適応利得(ρ)を求めることを特徴とする請求項64記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【数6】

$$\rho = \frac{-G - \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F}$$

(但し、 $F = C \cdot \text{Re}[D] - B \cdot \text{Re}[E]$ 、

$G = C - y^2(t)E$ 、

$H = \text{Re}[B] - y^2(t) \cdot \text{Re}[D]$ 、

(但し、 $\text{Re}[\cdot]$ は複素数“ \cdot ”の実数部(real part)を意味する。)

【請求項66】 上記利得ベクトル更新手段(95)

は、

現在のスナップショットでの追跡方向ベクトルと適応利得値をかけるための多数の乗算手段(95)と、

以前のスナップショットでの利得ベクトルと上記各乗算手段(951)の出力値を足すための多数の加算手段(952)を含むことを特徴とする請求項62記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項67】 上記多数の加算手段(952)の各出力値を、基準アンテナ素子に連結された加算手段(952)出力値のN自乗根倍に全部わけける多数の除算手段(953)を含むことを特徴とする請求項66記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項68】 上記スカラー合成手段(92)は、上記誤差ベクトルの各要素の絶対値をかけるための多数の乗算手段(921)と、

上記乗算手段など(921)の出力を互いに足すための加算手段(922)；以前のスナップショットでの上記加算手段(922)の出力に、現在のスナップショットでの上記加算手段(922)出力をわけける除算手段(923)と、

上記除算手段(923)の出力に負符号(−)を加える符号変換手段(924)を含むことを特徴とする請求項62記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項69】 上記信号処理手段(9)は、毎スナップショットごとに信号ベクトルをうけて自己相関行列を計算して出力するための自己相関行列発生手段(96)と、

上記自己相関行列発生手段(96)で出力する現在のスナップショットでの上記自己相関行列の最大固有値を推定するための最大固有値合成手段(97)と、

毎スナップショットごとに上記自己相関行列発生手段(96)で出力する自己相関行列、上記最大固有値合成手段(97)で出力する最大固有値、及び現在のスナップショットでの利得ベクトルを各々入力され誤差ベクトルを合成して出力する誤差ベクトル合成手段(91)と、

上記誤差ベクトル合成手段(91)の出力の誤差ベクトルを入力され追跡方向ベクトルの合成に必要なスカラー値を合成して出力するスカラー合成手段(92)と、上記誤差ベクトル及びスカラー値を入力され追跡方向ベクトルを合成して出力する追跡方向ベクトル合成手段(93)と、

自己相関行列、追跡方向ベクトル、現在のスナップショットでの上記最大固有値、及び利得ベクトル値を各々入力され毎スナップショットごとの適応利得を求めて出力する適応利得合成手段(94)と、

毎スナップショットごとに上記追跡方向ベクトル及び上

記適応利得値を基盤に上記利得ベクトルを更新する利得ベクトル更新手段(95)を含むことを特徴とする請求項5記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項70】 上記誤差ベクトル合成手段は、上記自己相関行列(R)の各行の各要素と利得ベクトルの各要素を順にかけるための多数の乗算手段(982)と、

各行に連結されている乗算手段など(982)の出力を互いに足す自己相関行列の行数ほどの加算手段など(983)と、

現在の推定最大固有値(λ)と利得ベクトルの各要素をかけるための多数の乗算手段など(981)と、

上記乗算手段など(981)の各々の出力から上記加算手段など(983)の出力を順にひくための多数の加算手段(984)を含むことを特徴とする請求項69記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項71】 上記自己相関行列発生手段(96)で、毎スナップショットごとに更新する自己相関行列値及び現在のスナップショットでの利得ベクトル(w)を利用して最大固有値(λ)を合成するための上記最大固有値合成手段(97)は、上記自己相関行列(R)の各行の各要素と現在のスナップショットでの利得ベクトルの各要素をかけるための多数の乗算手段(992)と、該当行に連結されている乗算手段(992)の出力を全部たして出力する多数の加算手段(993)と、同一行に具備された上記加算手段(993)の出力と該当行の利得ベクトル要素の複素共役(w*)をかけて出力する多数の乗算手段(994)と、

各行に対して一つずつ具備される上記多数の乗算手段(994)の出力を全部足した値を現在の推定最大固有値(λ)に出力する加算手段(995)を含むことを特徴とする請求項69記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項72】 上記適応利得合成手段(94)は、自己相関行列の各行の各要素と追跡方向ベクトルの各要素とを掛けるための多数の乗算手段(261)と、自己相関行列の各行の各要素などと追跡方向ベクトルの要素などを掛けたものを互いに足すための自己相関行列の行数ほどの加算手段など(262)と、

上記加算手段など(262)の各々の出力と利得ベクトルの各要素の複素共役をかけるための多数の乗算手段(263)と、

上記乗算手段など(263)の出力を全部足す加算手段など(265)と、

上記加算手段など(262)の各々の出力と追跡方向ベクトルの各要素の複素共役をかける多数の乗算手段(264)と、

上記乗算手段など(264)の出力を全部足す加算手段(266)と、追跡方向ベクトルの各要素と利得ベクトルの各要素の複素共役を互にかけるための多数の乗算

手段(267)と、

上記乗算手段など(267)の出力を全部足す加算手段(268)と、

追跡方向ベクトルの各要素とその複素共役をかける多数の乗算手段(269)と、

上記乗算手段など(269)と出力を全部足す加算手段(270)と、

上記加算手段(265、266、268、270)の出力を入力にして適応利得を計算する適応利得計算手段(271)を含むことを特徴とする請求項69記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項73】 上記加算手段(265)の出力をAとし、上記加算手段(266の出力を)Bとし、上記加算手段(268)の出力をCとし、そして上記加算手段(270)の出力をDとすると、上記適応利得計算手段(271)は、毎スナップショットごとに入力される上記A、B、C、Dの値を利用して、下記式によって適応利得(ρ)を算出することを特徴とする請求項72記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【数7】

$$\rho = \frac{-F - \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E}$$

(但し、 $E = B \cdot \text{Re}[C] - D \cdot \text{Re}[A]$ 、

$F = B - \lambda \cdot D$ 、

$G = \text{Re}[D] - \lambda \cdot \text{Re}[C]$ 、

(但し、 $\text{Re}[\cdot]$ は複素数“ \cdot ”の実数部(real part)を意味する。)

【請求項74】 上記信号処理手段(9)は毎スナップショットごとに信号ベクトルを受け取り自己相関行列の演算をベクトル演算により近似して所定のガンマベクトルとゼータベクトルを出力するための行列計算近似手段(136)と、上記行列計算近似手段(136)から出力する上記ガンマベクトルと現在のスナップショットでの利得ベクトルを入力され毎スナップショットごとに上記自己相関行列の最大固有値を推定するための最大固有値合成手段(137)と、

毎スナップショットごとに上記行列計算近似手段(136)から出力するガンマベクトル、上記最大固有値合成手段(137)から出力する最大固有値と現在のスナップショットでの利得ベクトル値を各々入力され誤差ベクトルを合成して出力する誤差ベクトル合成手段(131)と、

上記誤差ベクトル合成手段(131)の出力の誤差ベクトルを入力され追跡方向ベクトルの合成に必要なスカラー値を合成して出力するスカラー合成手段(132)と、

上記誤差ベクトルとスカラー値を入力され追跡方向ベクトルを合成して出力する追跡方向ベクトル合成手段(133)と、

上記行列計算近似手段(136)で出力するゼータベク

トルと、上記追跡方向ベクトルと現在のスナップショットでの上記最大固有値及び利得ベクトル値を各々入力され毎スナップショットごとの適応利得を求めて出力する適応利得合成手段(134)と、

毎スナップショットごとに上記追跡方向ベクトル及び上記適応利得値を基盤に上記利得ベクトルを更新する利得ベクトル更新手段(135)を含むことを特徴とする請求項57記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項75】 上記誤差ベクトル合成手段(131)は、

現在の最大固有値と利得ベクトルの各要素を順にかけるとの多数の乗算手段(1601)と、上記乗算手段(1601)の各出力から上記追跡方向ベクトルの各要素を次々に減算するための多数の減算手段(1602)を含むことを特徴とする請求項74記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項76】 上記行列計算近似手段(136)で毎スナップショットごとに更新する上記ガンマベクトルと現在のスナップショットでの利得ベクトル(w)を利用して最大固有値(λ)を合成するために上記最大固有値合成手段(137)は、上記ガンマベクトルの各要素と現在のスナップショットでの利得ベクトル複素共役の各要素をかけるための多数の乗算手段(1501)と、上記乗算手段など(1501)の出力を全部足して出力する加算手段(1502)を含むことを特徴とする請求項75記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項77】 上記適応利得合成手段(134)は、上記行列計算近似手段(136)の一出力の上記ゼータベクトルの各要素と上記利得ベクトルの各要素の複素共役を順にかけるとの多数の乗算手段(1701)と、上記乗算手段など(1701)の出力を全部足す加算手段(1705)と、

上記ゼータベクトルの各要素と上記追跡方向ベクトルの各要素の複素共役を順にかけるとの多数の乗算手段(1702)と、

上記乗算手段など(1702)の出力を全部足す加算手段(1706)と、

上記追跡方向ベクトルの各要素と利得ベクトルの各要素の複素共役を互いにかけるとの多数の乗算手段(1703)と、

上記乗算手段など(1703)の出力を全部足す加算手段(1707)と、

上記追跡方向ベクトルの各要素とその複素共役をかける多数の乗算手段(1704)と、

上記乗算手段など(1704)の出力を全部足す加算手段(1708)と、

上記加算手段など(1705、1706、1707、1708)の出力を入力して適応利得を計算する適応利得計算手段(1709)を含むことを特徴とする請求項76記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【請求項78】 上記加算手段(1705)の出力をAとし、上記加算手段(1706)の出力をBとし、上記加算手段(1707)の出力をCとし、そして上記加算手段(1708)の出力をDとするとき、上記適応利得計算手段(1709)は、毎スナップショットごとに入力される上記A、B、C、Dの値を利用して、下記式によって適応利得(ρ)を算出することを特徴とする請求項77記載の配列アンテナを利用した信号受信装置。

【数8】

$$\rho = \frac{-F - \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E}$$

(但し、 $E = B \cdot \text{Re}[C] - D \cdot \text{Re}[A]$ 、

$F = B - \lambda D$ 、

$G = \text{Re}[A] - \lambda \cdot \text{Re}[C]$ 、

(λ は最大固有値で、 $\text{Re}[\cdot]$ は複素数“ \cdot ”の実数部である。)

【請求項79】 配列アンテナを利用した信号送信装置において、送信希望信号を信号処理手段から配列アンテナの各アンテナ素子(12)に順次的に一つずつ提供される該当利得ベクトル($w_1 \cdots w_N$)の各要素値の位相ほど位相遅延させる多数の遅延素子(22)を経て該当アンテナ素子に印加することを特徴とする配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項80】 上記遅延素子(22)を各々正規化された該当利得ベクトル値を提供するために、毎スナップショットごとに利得ベクトルの一番目の要素(w_1)と最後の要素(w_N)の大きさを比べて大きさが小さい要素を選ぶ選択素子と、

該当位相遅延ベクトル値で上記選択素子によって選ばれた値をひいて出力する加算手段をさらに含むことを特徴とする請求項79記載の配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項81】 多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送信方法において、配列アンテナ(1)を利用して初期信号を受信する(2802)第1段階と、

信号処理手段(9)で初期位相ベクトル($\underline{w}(0)$)を設定(2806)する第2段階と、

受信モードから相関器出力を上記複素利得ベクトル($\underline{w}(k)$)に内積させて現在のスナップショットでの受信信号に決めて(2812)、送信モードなら上記更新された複素利得ベクトル($\underline{w}(k)$)の位相成分ほど上記配列アンテナ(1)の各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する(2810)第3段階と、

通信が継続されるべきかどうかの如何を確認して(2814)、最終スナップショットでなければ、次のスナップショットを設定して(2816)、上記配列アンテナ(1)を利用して信号を受信する(2818)第4段階と、

瞬時値に近似された自己相関行列 $\underline{R}(k)$ の最大固有値

に該当する固有ベクトルに近似されるように複素利得ベクトル ($\underline{w}(k)$) を更新する (2830) 第5段階と、

更新された利得ベクトル ($\underline{w}(k)$) をもって、さらに信号の送受信を遂行する上記第3段階にもどって、最終スナップショットまで反復遂行できるようにする第6段階を含むことを特徴とする配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項82】 多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送受信方法において、配列アンテナ(1)を利用して初期信号を受信する (2802) 第1段階と、信号処理手段(9)で初期位相ベクトル ($\underline{w}(0)$) を設定 (2806) する第2段階と、

受信モードなら相関器出力を上記複素利得ベクトル ($\underline{w}(k)$) に内積させて現在のスナップショットでの受信信号に決めて (2812)、送信モードなら上記更新された複素利得ベクトル ($\underline{w}(k)$) の位相成分ほど上記配列アンテナ(1)の各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する (2810) 第3段階と、通信が継続されるべきかどうかの如何を確認して (2814)、最終スナップショットでなければ、次のスナップショットを設定して (2816)、上記配列アンテナ(1)を利用して信号を受信する (2818) 第4段階と、

所定の忘却因子値 (f) に下記式によって、自己相関行列を更新する (2828) 第5段階と、 $\underline{R}(k) = f \cdot \underline{R}(k-1) + \underline{x}(k) \underline{x}^H(k)$ (但し、 f は忘却因子として0と1の間の値である。)

上記自己相関行列 $\underline{R}(k)$ の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように複素利得ベクトル ($\underline{w}(k)$) を更新する (2830) 第6段階と、

更新された利得ベクトル ($\underline{w}(k)$) をもってさらに信号の送受信を遂行する第3段階にもどって、最終スナップショットまで反復遂行できるようにする第7段階を含むことを特徴とする配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項83】 上記第1段階遂行後、受信手段(7)で所望の信号のチップコードと上記受信信号 $\underline{x}(t)$ をを相互相関させる (2804) 段階と、

上記第4段階遂行後、上記信号処理手段(5)で所望の信号のチップコードと上記受信信号 $\underline{x}(t)$ をを相互相関させる (2820) 段階を含むことを特徴とする請求項82記載の配列アンテナを利用した信号送信装置。

【請求項84】 所定の配列と間隔に設置される多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用して、その最終出力端での受信信号が最大になるように受信モードで上記各素子などに誘起される信号に位相遅延を加えて、送信モードでは上記受信モードで求められた上記位相遅延を上記各アンテナ素子などの送信希望信号に加え

て上記受信モードと同じビームパターンに送出する配列アンテナを利用する信号送受信装置において、一つの配列アンテナを送受信兼用に使うことを特徴とする信号送受信装置。

【請求項85】 所定の配列と間隔に設置される多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送受信方法において、受信モードから出力される受信信号を最大にする位相遅延ベクトル値を決めて上記各素子などに誘起される信号に加える段階と、送信モードで上記位相遅延ベクトル値を上記各アンテナ素子などに送信希望信号に加えて上記受信モードと同じビームパターンに送出する段階を含むことを特徴とする配列アンテナを利用した信号送受信方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は無線通信技術に利用される配列アンテナに関するもので、特に最適配列アンテナの設計とそれを利用して干渉及び雑音の影響を減らして通信品質を向上させて通信容量を増加させる信号送受信装置及び方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般的に、無線通信を行う時、受信される信号には所望の信号(原信号)と干渉信号が共に存在して、通常一つの原信号について多数の干渉信号が存在する。このような干渉信号による通信歪曲の程度は原信号電力対すべての干渉信号電力の割合によって決められるので、原信号のレベルが干渉信号の各々のレベルより顕著に高い場合にも干渉信号の数が多いと、干渉信号の全体電力が大きくなって通信歪曲が発生するようになる。既存の場合は、このような歪曲によって原信号の情報再生をたいへん難しくする深刻な問題点を内包していた。

【0003】従って、前述した問題点を改善するための一環として、従来には既存の配列アンテナを利用して干渉信号の影響を減らそうとする試みが多くの人々によってなされていたが、いままで開発された大部分の技術は固有値分離(Eigen Decomposition: 以下、簡単に"ED"という)方法を根拠としたもので、システムの複雑性とその処置時間上の問題によって、無線通信分野に実際に適用されなかった。このような従来の技術は次の参照文献に詳細に紹介されている。

【0004】参照文献

[1] M. Kaveh and A. J. Barabell, "The Statistical Performance of the MUSIC and Minimum-Norm Algorithms for Resolving Plane Waves in Noise," IEEE Trans., Acoust., speech and signal process., vol. ASSP-34, pp. 331-341, April 1986.

[2] T. Denidni and G. Y. Delesle, "A Nonlinear Algorithm for output Power Maximization of an Indoor Adaptive Phased Array," IEEE Electronmagnetic

Compatibility, vol. 37, no. 2, pp. 201-209, May, 1995.

配列アンテナ(active phased array antenna)の通信への利用においては、配列アンテナを作っている各アンテナ素子に適切な複素利得値を求めてかけることにより、または、その複素利得値の位相ほどの位相遅延を付加するとか、その位相遅延をキャリア周波数の 2π 倍にわけた値を時間遅延で加えることにより、原信号が位置した方向には最大の利得をあたえて各干渉信号の方向には最小の利得をあたえて干渉信号の影響を最小化しようとしている。

【0005】だから、配列アンテナを設計するのは、配列アンテナを構成している各々のアンテナ素子に誘起される信号にかけられるべき複素利得または、各々のアンテナ素子に誘起される信号に付加されるべき位相遅延の値、または、各誘起信号に付加されるべき時間遅延値を決定することを意味する。そして、配列アンテナ全体のビームパターンは各アンテナに付加される位相遅延により決められる信号成分の入射角(受信モードでは入射角、送信モードでは放射角)の函数である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前述した従来のED方法を実題の通信環境に適用しようとするとき、いちばん問題になる点は何よりもあまりに多くの計算が要求される短所をあげることができる。即ち、これはアルゴリズム(algorithm)の複雑度の問題であるので、原信号の方向または干渉信号の数がわからないときには、更に多くの計算が要求されて実際に通信に適用されなくなる。

【0007】それに、通信環境が時間で変化する場合には求めようとする因子値(各アンテナ素子に加えられるべき位相遅延値または各アンテナ素子にかけられるべき複素利得値)が継続して変わらなければならないので、前述したように多くの計算を実時間に遂行することが事実上不可能になるのである。

【0008】そうして、当該無線通信分野では、原信号及び干渉信号の数または各信号の入射角など信号環境についての事前情報がなくても、配列アンテナの本来の趣旨の理想的なビームパターン(原信号方向には最大の利得、干渉信号方向には最小の利得をもつビームパターン)を何よりも簡単に求められる実用的な新技術の開発が切実に要求されていた。

【0009】従って、本発明は上記のように従来技術の問題点などを効果的に解決するために案出されたもので、簡単化された計算過程をもっていて実際に易しく通信分野に具現できるだけでなく、理想的なビームパターン(原信号方向には最大の利得、あその他の方向には最小の利得をもつビームパターン)をもつ最適の配列アンテナとそれを設計する方法を提供することにその目的がある。

【0010】また、本発明は配列アンテナで所望の信号方向に利得は最大にして、その他の方向には利得を最小化するビームパターンをもつようにするための信号処理方法を提供することにその目的がある。

【0011】また、本発明は上記のように従来技術の問題点などを解決するために、前述したように最適配列アンテナを採用して原信号レベル対干渉信号レベルの差異を更に増加させて他の使用者による干渉信号の影響を顕著に減少させて通信容量を増大させ、付加雑音の強さを顕著に減少させて通信品質を改善する、配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信装置及び方法を提供することをその目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は上記一番目の目的を達成するために、受信モードでは出力される受信信号を最大にする位相遅延ベクトル値を上記各素子などに誘起される信号に加えて、送信モードでは上記受信モードで加えられる位相遅延ベクトル値と同じ位相遅延ベクトル値を上記各アンテナ素子などの送信希望信号に加えて上記受信モードと同じビームパターンで送出するように信号を処理する手段を含む配列アンテナを提供する。

【0013】本発明は上記一番目の目的を達成するために、信号の受信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子の各々に誘起される信号に各々の位相遅延ベクトルの該当要素値を加えるようにして、上記各アンテナ素子に誘起された信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルの各要素の位相値を上記位相遅延ベクトルの値に決定する配列アンテナ設計方法を提供する。

【0014】本発明は上記一番目の目的を達成するために、信号の受信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子の各々に誘起される信号に各々位相遅延を加えるように、上記各アンテナ素子に誘起された信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルの値に上記アンテナ素子に誘起される各々の信号のための利得ベクトルを決めて受信信号を生成するようにする配列アンテナ設計方法を提供する。

【0015】本発明は上記一番目の目的を達成するために、信号の送信のための配列アンテナを設計する方法において、所定の間隔に配列される多数のアンテナ素子に印加される信号に各々利得ベクトルの該当要素値をかけるようにして、上記利得ベクトルの値は受信信号から求めた自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルに決定する配列アンテナ設計方法を提供する。

【0016】本発明は上記二番目の目的を達成するために、配列アンテナで所望の信号方向への利得は最大にして、その他の方向へは利得を最小化してビームパターンをもつようにするための信号処理方法において、初期には基準アンテナ素子に加える位相を0にして、上記基準

アンテナ以外のアンテナ素子に加える位相は、各々のアンテナ素子に誘起される信号と上記基準アンテナ素子に誘起される信号との位相差と同一にするから各アンテナ素子間の位相差を無くすように初期位相ベクトル($\underline{w}(0)$)を設定する第1段階と、位相遅延ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする第2段階と、現在のスナップショットが最終スナップショットかどうかの如何を確認して、最終スナップショットなら終了して、最終スナップショットでなければ、次のスナップショットを設定した後、新しいスナップショットで受信された信号で自己相関行列を更新して、更新された自己相関行列の最大固有値(λ_{\max})に相応する固有ベクトルの位相値に近接されるように位相遅延ベクトルを更新する第3段階と、第2段階に進行して、最終スナップショットまで順次的に上記第2、第3段階が反復遂行されるようにする第4段階を含む配列アンテナでの位相遅延ベクトルを利用した信号処理方法を提供する。

【0017】本発明は上記二番目の目的を達成するために、配列アンテナで望まれる信号方向への利得は最大にして、その他の方向へは利得を最小化するビームパターンをもつようにするための信号処理方法において、各々のアンテナ素子に誘起された信号の間の位相差を無くすように初期利得ベクトル($\underline{w}(0)$)を設定する第1段階と、設定された利得ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする第2段階と、現在のスナップショットが最終スナップショットかどうかの如何を確認して、最終スナップショットなら終了して、最終スナップショットでなければ、次のスナップショットを設定した後、入力受信信号に基づいて自己相関行列を更新してから、自己相関行列の最大固有値(λ_{\max})に相応する固有ベクトルに近接されるように利得ベクトルを更新する第3段階と、上記更新された利得ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする第2段階に進行して、最終スナップショットまで順次的に上記第2及び第3段階が反復遂行されるようにする第4段階を含む配列アンテナでの利得ベクトルを利用した信号処理方法を提供する。

【0018】また、上記三番目の目的を達成するために、配列アンテナを利用した信号受信装置において、多数のアンテナ素子を具備して所定の位置と間隔に配列されて受信信号を入力され後端に提供する配列アンテナと、上記配列アンテナから信号を入力され上記各アンテナ素子に誘起された信号を望まれるくらい位相遅延させる多数の位相遅延素子を具備した位相遅延部と、上記位相遅延部を通して各々適切に位相遅延された各々の信号などを互いに足して上記配列アンテナの出力値を算出する遅延信号加算部と、現在のスナップショットでの上記遅延信号加算部の出力値と上記配列アンテナで得られた信号ベクトルを処理して適切な位相遅延値を上記位相遅延部に提供する信号処理部を含む信号受信装置を提供する。

【0019】上記三番目の目的を達成するために、配列アンテナを利用した信号受信装置において、送信希望信号を信号処理手段から上記配列アンテナの各アンテナ素子に順次的に一つずつ提供される該当位相遅延ベクトルの各要素ほど遅延された後、上記配列アンテナの該当アンテナ素子に印加する多数の遅延素子を含む信号送信装置を提供する。

【0020】上記三番目の目的を達成するために、多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送受信方法において、上記配列アンテナを利用して初期信号を受信して、初期位相ベクトルを設定する第1段階と、受信時配列アンテナの各アンテナ素子に設定された位相ベクトルほどの位相遅延を加えて信号を受信して、送信時設定された位相ベクトルほど上記配列アンテナの各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する第2段階と、通信終了時まで上記第2段階から反復遂行されるように、次のスナップショットを設定して上記配列アンテナで信号を受信するように、自己相関行列の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように位相遅延ベクトルを更新する第3段階を含む信号送受信方法を提供する。

【0021】上記三番目の目的を達成するために、配列アンテナ利用した信号受信装置において、多数のアンテナ素子を具備して所定の位置と間隔に配列されて各アンテナ素子に誘起される受信信号を後端に印加する配列アンテナと、上記各アンテナ素子に誘起されて上記配列アンテナから出力される信号ベクトルについて、周波数低域遷移、復調などの信号受信に必要な処理を行って毎スナップショットごとに信号ベクトルを合成する受信部と、上記受信から出力される信号ベクトルの各要素と適切な値の利得ベクトルを内積して配列アンテナの出力値を合成する内積計算部と、上記受信部から出力される信号ベクトルの各要素を上記内積計算部の出力値を利用して処理して適切な利得ベクトル値を求めた後、上記内積計算部に提供する信号処理部を含む信号受信装置を提供する。

【0022】上記三番目の目的を達成するために、配列アンテナを利用した信号送信装置において、送信希望信号を信号処理部から配列アンテナの各アンテナ素子に順次的に一つずつ提供される該当利得ベクトルの各要素値の位相ほど位相遅延させる多数の遅延素子を経て該当アンテナ素子に印加する信号送信装置を提供する。

【0023】上記三番目の目的を達成するために、多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送受信方法において、配列アンテナを利用して初期信号を受信する第1段階と、信号処理部で初期位相ベクトルを設定する第2段階と、受信モードなら相関器出力を上記複素利得ベクトル($\underline{w}(k)$)に内積させて現在のスナップショットでの受信信号に決めて、送信モードなら上記更新された上記複素利得ベクトル($\underline{w}(k)$)の位

相成分ほど上記配列アンテナの各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する第3段階と、通信が継続されるべきであるかを確認して、最終スナップショットでなければ、次のスナップショットを設定した上記配列アンテナを利用して信号を受信する第4段階と、瞬時値に近似された自己相関行列 $\underline{R}(k)$ の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように複素利得ベクトル $(\underline{w}(k))$ を更新する第5段階と、更新された利得ベクトル $(\underline{w}(k))$ をもってさらに信号の送受信を遂行する上記第3段階にもどって、最終スナップショットまで反復遂行できるようにする第6段階を含む信号送信方法を提供する。

【0024】上記三番目の目的を達成するために、多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送受信方法において、配列アンテナを利用して初期信号を受信する第1段階と、信号処理部で初期位相ベクトル $(\underline{w}(0))$ を設定する第2段階と、受信モードなら相関器出力を上記複素利得ベクトル $(\underline{w}(k))$ に内積させて現在のスナップショットでの受信信号に決めて送信モードなら上記更新された複素利得ベクトル $(\underline{w}(k))$ の位相成分ほど上記配列アンテナの各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する第3段階と、通信が継続されるべきであるかを確認して最終スナップショットでなければ次のスナップショットを設定した上記配列アンテナを利用して信号を受信する第4段階と、所定の忘却因子値 (f) に下記式によって、自己相関行列を更新する第5段階と、

$$\underline{R}(k) = f \cdot \underline{R}(k-1) + \underline{x}(k) \underline{x}^H(k)$$

(但し、 f は忘却因子として0と1の間の値である。) 上記自己相関行列 $\underline{R}(k)$ の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように複素利得ベクトル $(\underline{w}(k))$ を更新する第6段階と、更新された利得ベクトル $(\underline{w}(k))$ をもってさらに信号の送受信を遂行する上記第3段階にもどって、最終スナップショットまで反復遂行できるようにする第7段階を含む信号送信方法を提供する。

【0025】上記三番目の目的を達成するために、所定の配列と間隔に設置される多数のアンテナ素子などを具備した配列アンテナを利用してその最終出力端での受信信号が最大になれる受信モードで上記各素子などに誘起される信号に位相遅延を加えて送信モードでは上記受信モードで求められた上記位相遅延を上記各アンテナ素子

などの送信希望信号に加えて上記受信モードと同一のビームパターンに送出する配列アンテナを利用する信号送受信装置において、一つの配列アンテナを送受信兼用に使うことを特徴とする信号送受信装置を提供する。

【0026】また、上記三番目の目的を達成するために、所定の配列と間隔に設置される多数のアンテナ素子を具備した配列アンテナを利用した信号送信方法において、受信モードで出力される受信信号を最大にする位相遅延ベクトル値を決めて上記各素子などに誘起される信号に加える段階と、送信モードで上記位相遅延ベクトル値を上記各素子アンテナなどの送信希望信号に加えて上記受信モードと同じビームパターンに送出する段階を含む配列アンテナを利用した信号送受信方法を提供する。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、添付された図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明することにする。

【0028】本発明は望まれる理想的なビームパターンを提供する配列アンテナ設計技術と、それを利用して干渉及び雑音の影響を減らすから通信品質を向上させて、通信容量を増加させる送受信装置及び方法を提案している。そして、本発明による上記配列アンテナは送信と受信との全部のために設計され、それらが信号送受信装置にどのように設置されるか、また上記信号送受信装置が通信システムにどのように設置されるかも本発明に含まれる。

【0029】＜最適配列アンテナ設計＞本発明による最適配列アンテナ設計について調べてみよう。

【0030】第1図は本発明による最適配列アンテナの受信モードでの構造と作用を概念的に説明するための概略図である。

【0031】本図面は多数 (M 個) の信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 、…、 $S_M(t)$ が受信配列アンテナに入射される信号環境を概念的に描写しているので、図面で $x_m(t)$ は m 番目アンテナに誘起された信号で、 \underline{w}_m は望まれるビームパターンを形成させるために、上記 m 番目アンテナ素子に誘起された信号に加える複素利得ベクトルで、 $y(t)$ は上記配列アンテナの出力を表したものである。

【0032】ここで、上記配列アンテナの出力 $y(t)$ は次のように表わすことができる。

【数9】

$$y(t) = \sum_{m=1}^M \underline{w}_m^* x_m(t) = \sum_{m=1}^M \underline{w}_m^* \cdot \left[\sum_{k=1}^M S_k(t) e^{j(m-1) \pi \sin \theta_k} + n_m(t) \right]$$

(但し、 \underline{w}_m^* は \underline{w}_m の複素共役である。) 上記式は配列アンテナが線形配列の場合に該当するが、本発明で提案する技術はその配列の形態に関係なく最適のビームパターン形成に有効に使われる。

【0033】配列アンテナを設計するのは、前述したよ

うに配列アンテナを構成している各々のアンテナ素子に誘起される信号にかけられるべき複素利得を求めて決定するとか、各々のアンテナ素子に誘起される信号に付加されるべき位相遅延の値を求めて決定するとか、または各誘起信号に付加されるべき時間遅延値を求めて決定す

るといえるが、上記の三方式は数学的につまり全部等価的なのである。

【0034】そして、本発明で配列アンテナを設計する目的は、所望のビームパターンを形成するように複素利得ベクトル“ w ”の値を決定することにより、究極的にはアンテナ素子に誘起された信号などと上記複素利得ベクトル w の内積 (Euclidean inner product) 結果の配列アンテナの出力を所望の値に近接させようとする。

【0035】ところで、上記複素利得ベクトル w のすべての要素 (element) の大きさを1に正規化すると各アンテナ素子に誘起された信号値に上記複素利得ベクトル w をかけるとはその信号に上記複素利得ベクトル w の位相ほどの位相遅延を加えるといえる。従って、配列アンテナを設計するのは、配列アンテナを構成している各アンテナ素子に付加する位相遅延の値を決定するのに帰結される。

【0036】そのとき、 i 番目アンテナ素子に付加する位相遅延を ϕ_i とすると、キャリア周波数の 2π 倍で ϕ_i を割った値ほどの時間遅延を付加しても同じ効果を得られる。

【0037】隣接したアンテナ素子間の距離を $\lambda_c/2$ (但し、 λ_c は入力信号のキャリア周波数の波長) に決めた線形配列アンテナの場合、 m 番目のアンテナ素子に誘起される信号は周波数低域遷移後に次のように表わすことができる。

【0038】

【数10】

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^M S_k(t) e^{j(m-1)\pi \sin \theta_k} + n_m(t)$$

但し、 θ_k は k 番目の信号の入射角で $S_k(t)$ は受信端で k 番目の送信信号である。数10で下添字 m は、次のページで定義される基準アンテナの場合を $m=1$ にして、受信または送信信号の位相の大きさ順に $m=2, 3, \dots, N$ に番号がつけられる。

【0039】上記数10で、 M 個の信号成分中いずれかの一つが原信号で (本発明では、便宜上一番目信号 $S_1(t)$ を“原信号”として、原信号の入射角は“ θ_1 ”という)、あまりの $M-1$ 個の信号は干渉信号として雑音 $n_m(t)$ といっしょに通信を妨害する要素である。

【0040】また、上記数10は均等間隔 ($\lambda_c/2$) の線形配列アンテナの場合のための数式であるが、本発明で提供される技術は、アンテナ間の距離が均等ではないとか線形配列ではない場合にも一般的に適用される技術である。

【0041】あるアンテナ (m 番目のアンテナ) と基準アンテナとの距離を d_m とすると、そのアンテナの信号は基準アンテナの信号と

【数11】

$$2\pi \frac{d_m}{\lambda_c} \sin \theta_k$$

ほどの位相差ができる (但し、 λ_c は信号のキャリア周波数での波長である)。従って、非均等間隔とか非線形配列の場合、 m 番目のアンテナに誘起される信号は次のように表わすことができる。

【0042】

【数12】

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^M S_k(t) e^{j2\pi \frac{d_m}{\lambda_c} \sin \theta_k} + n_m(t)$$

本発明では、上記各アンテナ素子に加える位相遅延または時間遅延を全部正の数 (+) にするために、受信モードではいちばん位相が遅い信号が誘起されるアンテナ素子を基準アンテナ素子にして、送信モードでは信号の伝達方向が反対だからいちばん位相が早いアンテナ素子が基準アンテナ素子になる。

【0043】このような基準アンテナ素子を定義すると、実際に配列アンテナを設計するにおいて、上記基準アンテナ素子に誘起される信号にはいつも0位相を加えて (変化を加えないことを意味する)、その他のアンテナ素子には全部正の位相差 (または、位相遅延をキャリア周波数の 2π 倍で割った時間遅延) を加えてやさしく設計される。

【0044】もし、上記配列アンテナが N 個のアンテナ素子に構成されていると、毎スナップショットごとに $N-b_y-1$ 信号ベクトル (一般的に要素の数が N 個であるベクトルを $m-b_y-1$ ベクトル”という) をうけるようになり、 J 番目のスナップショットでは次のように自己相関行列を構成される (数13参照)。

【0045】ここで“スナップショット”というのを、配列アンテナに入射される信号を観測して新しい利得ベクトル w (または、位相遅延ベクトル) を計算する時間とすると、本発明では毎スナップショットごとに新しく入射される信号値にあたる利得ベクトル (または、位相遅延ベクトル) を算出するから、現在入射された信号値に適応する配列アンテナを毎スナップショットごとに設計される。

【0046】

【数13】

$$R_x(J) = \frac{1}{J} \sum_{t=1}^J \underline{\underline{x}}(t+1Ts) \underline{\underline{x}}^H(t+1Ts)$$

但し、上記数13で二重下線 (double underline) は行列を、単一下線 (underline) はベクトルを各々表示したもので、はスナップショットの周期で、上添字はハミシアン (Hermitian) 演算子で、要素の数が個の $N-b_y-1$ 信号ベクトル $x(t)$ は上記数10に説明された入力信号、 $x_m(t)$ 、 $m=1, 2, \dots, N$ に、次のように構成される。

【0047】

【数14】

$$\mathbf{x}(t)=[x_1(t)x_2(t)\cdots x_n(t)]^T$$

(但し、上添字Tは前置(transpose)演算子である。)

しかし、上記数13はM個の信号成分の入射角が変わらないときだけ有効で、環境、即ち移動通信環境のように各々の信号源が通信途中に移動するときは、入射角が毎

$$\mathbf{R}\mathbf{x}(J+1)=f\cdot\mathbf{R}\mathbf{x}(J)+\mathbf{x}((J+1)Ts)\mathbf{x}^H((J+1)Ts)$$

【外1】

(但し、 $\mathbf{R}\mathbf{x}(J+1)$ と $\mathbf{R}\mathbf{x}(J)$ は各々J+1番目とJ番目のスナップショットの自己相関行列で、fは0と1の間の値をとる忘却因子である。)

一般的に通信環境は時間とともに変化するから、本発明では特に移動通信環境で上記数13よりは上記数15を利用して自己相関行列を計算する。

【0050】多様なコンピューターの模擬実験の結果、本発明の技術を一般的な陸上移動通信環境に適用する場合、忘却因子の値を0.8~0.99の範囲内にすると最適な性能を発揮することがわかった。

【0051】さらに、最適配列アンテナ設計について実施形態をあげて更に具体的に説明する。

【0052】上記数13または数15によって決められる自己相関行列の固有値を大きさ順に羅列してみると、 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_N$ のようになる。上記最大の固有値 λ_1 は信号の総数Mとアンテナ素子の個数Nに関係なく信号成分などによって決められる固有値である。

【0053】従って、上記最大固有値 λ_1 に対応する正規化された固有ベクトルを \mathbf{e}_1 とすると、 \mathbf{e}_1 は次のように信号副空間(signal subspace)に存在することがわかった。

【0054】

【数16】

$$\mathbf{e} = \sum_{i=1}^M r_i \mathbf{a}(\theta_i)$$

但し、 r_i 複素値は原信号及び干渉信号などの大きさ及び入射角分布によって決められる常数で、 $\mathbf{a}(\theta_i)$ はi番目入射信号の入射角 θ_i によって決められる方向ベクトルとして、

【数17】

$$\mathbf{a}(\theta_i)=[e^{j\lambda \sin \theta_i \sin \theta_1} \cdots e^{j(N-1)\lambda \sin \theta_i}]$$

に決められる。

【0055】ここで、望まれる信号レベルのその他の信号、即ち干渉信号各々のレベルより顕著に大きいと仮定してみよう。即ち、

【数18】

$$|S_i(t)| \gg |S_j(t)| \text{ for } i \neq j$$

数18の条件が満足される信号環境では、数16の固有ベクトル \mathbf{e}_1 は次のように近似化される。

【0056】

スナップショットごとに変わるから上記数13では正しい自己相関行列を構成できなくなる。

【0048】従って、時間とともに変化する環境では、次のように忘却因子を導入して反復できる方法で自己相関行列を近似的に計算するのが正しい。

【0049】

【数15】

【数19】

$$\mathbf{e}_1 = r_1 \mathbf{a}(\theta_1)$$

即ち、 \mathbf{e}_1 は望まれる信号の入射角によって決められる方向ベクトル $\mathbf{a}(\theta_1)$ とほとんど同じ方向になる。

【0057】従って、所望の信号レベルが干渉信号各々のレベルより十分に大きいという条件では、各アンテナ素子に加える位相遅延ベクトル \mathbf{w} を最大固有値の相応ベクトル \mathbf{e}_1 に決定すると、配列アンテナのビームパターンは最大利得を原信号方向の θ_1 側に近似されるのである。

【0058】だから、本発明では配列アンテナの位相遅延ベクトルを次のようにおくよう提示している。

【0059】

【数20】

$$\mathbf{w} = \frac{1}{\sqrt{N}} \mathbf{e}_1$$

ここで、固有ベクトルを常数にわけたのは配列アンテナの性能を分析するときの計算上の便利のためである。

【0060】だから、どのような方法で最適の位相遅延ベクトルを求めることについて、調べてみることにする。

【0061】前述で説明したように、原信号の電力が干渉波の各々の電力よりも強い信号環境では、原信号方向に最大利得を形成する理想的なビームパターンをもつ配列アンテナは、上記最大固有値 λ_1 に対応する正規化された固有ベクトル \mathbf{e}_1 に \mathbf{w} を決定するから、近似的に求められる。

【0062】しかし、自己相関行列を求めるのも上記数13と数15でみられるように、多くの計算が必要であり、最大固有値に対応する固有ベクトルを求めるのは、簡単なことではない。問題を更に難しくするのは移動通信のように信号環境が時間的に変化する場合、毎スナップショットごとに原信号の入射角が変化するので、変化した入射角に合わせて固有ベクトルを決定するべきである。

【0063】従って、本発明ではアンテナ素子に加えるべき位相遅延 \mathbf{w} を周知の共役傾きの方法(CGM: conjugate gradient method)を

応用してe₁と近似した値に決定する方案を説明することにした。

【0064】まず、求めようとする位相遅延ベクトルwは、次のように反復的な過程を通じて毎スナップショットごとに直前のスナップショットで求めたベクトルを更新して求める。

【0065】

【数21】

$$\underline{w}(k+1) = \underline{w}(k) + \rho(k) \underline{y}(k)$$

但し、独立変数kは、スナップショットを表わすタイムインデックス(time index)であり、 $\rho(k)$ と $\underline{v}(k)$ は各々k番目スナップショットでの適応利得(adaptive gain)と追跡方向ベクトル(search direction vector)で、上記数21で $\underline{w}(k+1)$ は毎反復ごとに大きさが1になるように正規化するべきである。

【0066】上記数21から、現在のスナップショットで求めようとする解は直前の解で $\underline{v}(k)$ の方向に $\rho(k)$ ほど更新するから得られたことがわかる。

【0067】しかし、このような概念で解を求めようとすると次の二つの問題を解決しなければならない。

【0068】一番目、初期の位相遅延ベクトルw(0)はどのように設定するか？

二番目、適応利得と追跡方向ベクトルは毎スナップショ

$$f(\underline{w}) = \frac{\underline{w}^H(k) \underline{R}_x(k) \underline{w}(k)}{\underline{w}^H(k) \underline{w}(k)} \text{ with a constraint } |\underline{w}(k)|^2 = 1$$

数学的にやさしく説明されるように、数23に定義された評価関数の最小値と最大値は各々行列 $\underline{R}_x(k)$ の最小固有値と最大固有値に収斂して、収斂したときの解w(k)はそれに対応する固有ベクトルである。

【0072】所望の信号の方向に最大の利得を提供するビームパターンを形成するためには、前で説明したように配列アンテナの利得ベクトルwを最大固有値に相応する固有ベクトルに決定するべきなので、本発明では上記数23の評価関数を最大化する適応利得と追跡方向ベクトルを求める。

【0073】そして、次のように上記数23を適応利得 $\rho(k)$ に偏微分して、その結果を0(zero)とする条件を求めるから最大値または最小値を求められる。

【0074】

【数24】

$$\frac{\partial f(\underline{w}(k+1))}{\partial \rho(k)} = 0$$

上記数24を満足する適応利得 $\rho(k)$ は下の数25のように求められる。

【0075】

【数25】

$$\rho(k) = \frac{[-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}]}{2A}$$

ットでどのように決定するのか？

本発明では初期状態での解w(0)は初期状態に受信された信号x(0)を使う。即ち、

【数22】

$$\underline{w}(0) = \frac{\underline{x}(0)}{x_1(0)}$$

但し、 $x_1(0)$ は基準アンテナ素子に誘起された受信信号として、信号ベクトルx(0)の一番目の要素である。

【0069】上記数22のようにする理由は、自己相関行列のランクが一番目スナップショットでは1で、従って信号固有値は一つだけであり、雑音成分だけを無視すると入力信号ベクトル自体からすぐ信号固有ベクトルを得られるからである。

【0070】本実施形態で提示する技術は、初期に上記数22から始めて、ここで説明される要領に共役傾き方法を修正して毎スナップショットごとに適応利得と追跡方向ベクトルを求めた後、上記数21に解を更新して配列アンテナを設計するのである。

【0071】共役傾き方法を応用するために、次のようにレーリー商(Rayleigh quotient)に定義された評価関数を考慮してみる：

【数23】

但し、

$$\text{【数26】 } A = b(k) \operatorname{Re}[c(k) - d(k) \operatorname{Re}[a(k)]]$$

$$B = b(k) - \lambda(k) d(k),$$

$$C = \operatorname{Re}[a(k) - \lambda(k) \operatorname{Re}[c(k)]],$$

$$\lambda = \underline{w}^H(k) \underline{R}_x(k) \underline{w}(k),$$

$$a(k) = \underline{w}^H(1) \underline{R}_x(k) \underline{v}(k),$$

$$b(k) = \underline{v}^H(k) \underline{R}_x(k) \underline{v}(k),$$

$$c(k) = \underline{w}^H(k) \underline{v}(k)$$

$$d(k) = \underline{v}^H(k) \underline{v}(k)$$

また、 $\operatorname{Re}[*]$ は複素値“*”の実数部(real part)を意味する。

【0076】上記数25で正符号(+)と負符号(-)は各々評価関数の最小化と最大化を誘発するから、本発明では評価関数の最大化のために負符号を選ぶ。

【0077】上記数23のコンストレイン(constraint)に表れたように、数26の位相遅延ベクトルw(k)は毎ステップで正規化されるべきである。

【0078】追跡方向ベクトルv(k)は初期状態で $\underline{v}(0) = \lambda(0) \underline{w}(0) - \underline{R}_x(0) \underline{w}(0)$ に設定された後、次のように更新される。

【0079】

【数27】

$\underline{v}(k+1) = \underline{r}(k+1) + \beta(k) \underline{v}(k)$
但し、誤差ベクトル $\underline{r}(k+1)$ とスカラー $\beta(k)$ は次のように決められる。

【0080】

【数28】 $\underline{r}(k+1) = \lambda(k+1) \underline{w}(k+1) - \underline{R}_x(k+1) \underline{w}(k+1)$

【数29】

$$\beta(k) = - \frac{\|\underline{r}(k+1)\|^2}{\|\underline{r}(k)\|^2}$$

本実施形態で提示する最適の位相遅延ベクトルを求める全体的な過程を総合的にみると次のようである。

【0081】一番目、初期に各アンテナ素子に誘起された信号を利用して $\underline{w}(0) = \underline{x}(0) / x_1(0)$ に初期の解を設定する。このとき、自己相関行列 $\underline{R}_x(0) = \underline{x}(0) \underline{x}^H(0)$ にして計算する。

【0082】二番目、新しい信号ベクトル $\underline{x}(k)$ を数15に代入して自己相関行列を更新して、数25と数26に適用利得を求めて、数27または数29で追跡方向ベクトルを計算して利得ベクトルを数21のように更新する。

【0083】以後、毎スナップショットの新しい信号ベクトルをうけるときに、これを反復する。

【0084】本実施形態によると、原信号の方向はもちろん、すべての干渉信号成分の方向について一切の事前情報を必要としないから、全体的な過程が画期的に単純化されて、周知の汎用プロセッサを使って移動通信をはじめ、大部分の実際の通信環境で信号再生及び送信を実時間で処理されるようになる。

【0085】例えば、上記最適の位相遅延ベクトルを求めるのに必要な総計算量は上記数25または29に表れたように、毎スナップショットごとに約 $O(3N^2 + 12N)$ だから、コンピューター模擬実験の結果、使用者の速さが150を越えない陸上移動通信では標準チップ(digital signal processing chip)を利用しても技術的な難しさはないことがわかった。

【0086】上記のように共役傾きの方法を応用して望まれるビームパターンをもつようにする位相遅延ベクトルを求められるが、上記の方法は従来の方法よりは顕著に簡略化されたが、数15に現れたように毎スナップショットごとに自己相関行列を更新しなければならないから、システムの複雑度はそのままである。

【0087】従って、全体の過程を更に簡略化するために、共役傾きの方法で必要とする自己相関行列計算時に忘却因子の値を特定値に調整する。

【0088】即ち、数15で忘却因子の値を0に固定させる場合を考えてみる。自己相関行列を現在の信号ベクトルに決定する意味だから、前に提示された共役傾きの方法のすべての過程がずっと減るようになる。

【0089】また、毎スナップショットでの入射角の変

化が余りに大きい場合には、過去の信号値などを自己相関行列に考慮することが可能になるので、忘却因子を0にしたのは一般的な信号環境で適用される。

【0090】まず、自己相関行列は次のように簡略化される。

【0091】

【数30】

$$\underline{R}_x(J) \approx \underline{x}^H(J)$$

上記の式を数26に適用すると数26で計算量 $O(N^2)$ を要求した因子など $\lambda(k)$ 、 $a(k)$ 、 $b(k)$ が次のように簡略に計算されている。

【0092】

【数31】 $\lambda(k) = |y(kTs)|^2$ 、

$a(k) = y(kTs) \underline{x}^H(kTs) \underline{v}(k)$ 、

$b(k) = |\underline{v}^H(k) \underline{x}(kTs)|^2$

(但し、 $y(kTs)$ は k 番目のスナップショットでの配列アンテナ出力として $y(kTs) = \underline{w}^H(k) \underline{x}(kTs)$ に定義される。)

上記の数31でみられるように忘却因子を0にする場合、自己相関行列が現在の信号ベクトルだけで決められるから、最適の位相遅延ベクトルを求める過程が大幅に簡略化されて、自己相関行列を毎スナップショットごとに更新しないから、行列自体を計算する必要がなくなり、上記数15の遂行が省略されるのである。

【0093】コンピューター模擬試験の結果、上記で紹介した方法で自己相関行列を計算して忘却因子の値を最適値に設定した結果、干渉信号について約12ほどの改善が得られたし、雑音についてはアンテナ素子の数ほど改善を得られる。

【0094】(即ち、実際の雑音電力は配列アンテナ出力端で約 $1/N$ に減少。)

反面、瞬時値で自己相関行列を近似化した方法によって、雑音についてはほとんど対等の改善を得たし、干渉の場合は約9dBの改善を得られた。

【0095】結果的に忘却因子を導入するから過去の信号値などを全部考慮して自己相関行列を計算した共役傾きの方法を導入して上記配列アンテナを設計する場合と比較すると、自己相関行列を瞬時値で近似化した簡略化技術は干渉信号について約3dBほどの性能低下を誘引することがわかったが、全体的な過程が大幅に簡素化されるから、システムを容易に実現及び費用節減を得られるのである。瞬時信号値だけで簡略化された方法で、配列アンテナを設計する場合、 $O(N^2)$ の演算子は全部なくされて全体過程の計算量は約 $O(11N)$ になる。

【0096】本発明で提示された技術の複雑度を減少させて最適利得ベクトル(または、位相遅延ベクトル)を求めるとき必要な計算量を減らすために、前述のように瞬時信号値だけで自己相関行列を近似する方法は、システムの簡略化の面では成功的といえるが、性能の面で

は適切な忘却因子を導入して、自己相関行列を計算してその計算された行列の最大固有値に対応する固有ベクトルを各アンテナ素子の利得ベクトルにする提案技術よりは非常に劣勢である。信号電力対干渉電力の改善量においては、大きく劣らないが、ビット誤謬確率においては、コンピューター模擬試験の結果、約10倍以上増加することがわかった。

【0097】従って、システムの複雑度や全体性能面を同時に考慮した方式の必要性が台頭されるように、瞬時信号値の方式より全体システムは僅か複雑だが、全体性能、特にビット誤謬確率においては、更に優秀な折衝方式を下のように提示する。

【0098】

【外2】

システムの複雑度を増加させる項は行列計算項として、 $\underline{R}_x(k) \cdot \underline{w}(k)$

項と $\underline{r}_r \cdot \underline{v}(k)$ 項であることがわかった。

従って、この二つの行列演算項を簡略化すると、瞬時信号値で自己相関行列を近似しなくても全体システムの複雑度を顕著に減らせる。

上記二つの項を各々 $\underline{z}(k) = \underline{R}_x(k) \underline{w}(k)$ と $\underline{z}(k) = \underline{R}_x(k) \underline{v}$

(k) とすると、この二つの項の計算は次のように簡略化される。

最初のスナップショットで $\underline{z}(0)$ と $\underline{z}(0)$ は各々

$$\underline{z}(0) = \underline{x}(0) \cdot \underline{x}^H(0) \cdot \underline{w}(0)$$

$$= \underline{x}(0) \cdot \underline{y}^*(0),$$

$$\underline{z}(0) = \underline{x}(0) \cdot \underline{x}^H(0) \cdot \underline{v}(0) \text{ に求められ}$$

て、二番目のスナップショットからは次のように更新される。

【0099】

【数32】

$$\underline{r}(k+1) = \underline{R}_x(k+1) \cdot \underline{w}(k+1)$$

$$= [f \underline{R}_x(k+1) + \underline{x}(k+1) \underline{x}^H(k+1)] \underline{w}(k+1)$$

$$= f \underline{R}_x(k) \underline{w}(k+1) + \underline{x}(k+1) \underline{y}^*(k+1)$$

$$= f \underline{R}_x(k) [\underline{w}(k) + \rho(k) \underline{v}(k)] + \underline{y}^*(k+1) \cdot \underline{x}(k+1)$$

$$= f \underline{z}(k) + f \rho(k) \underline{z}(k) + \underline{y}^*(k+1) \cdot \underline{x}(k+1)$$

但し、 f は $0 < f \leq 1$ の忘却因子である。

【数33】

【0100】

$$\underline{z}(k+1) = \underline{R}_x(k+1) \cdot \underline{v}_x(k+1)$$

$$= [f \underline{R}_x(k) + \underline{x}(k) \underline{x}^H(k)] \underline{v}(k+1)$$

$$= f \underline{R}_x(k) [\underline{z}(k) + \beta(k) \underline{v}(k)] + \underline{x}(k) \underline{x}^H(k) \cdot \underline{v}(k+1)$$

$$= f \underline{R}_x(k) \underline{z}(k+1) + f \cdot \beta(k) \underline{R}_x(k) \underline{v}(k) + \underline{x}(k) \underline{x}^H(k) \cdot \underline{v}(k+1)$$

誤差ベクトル $\underline{z}(k+1)$ が正しく求められたら、

【数34】

$$\underline{R}(k) \underline{z}(k+1) \approx 0$$

だから、上記数32は次のように近似される。

【0101】

【数35】

$$\approx f \cdot \beta(k) \cdot \underline{z}(k) + \underline{x}(k) \cdot \underline{x}^H(k) \cdot \underline{v}(k+1)$$

$$\underline{z}(k+1) = \underline{R}_x(k+1) \underline{w}(k+1)$$

$$= f \cdot \underline{z}(k) + f \rho(k) \cdot \underline{z}(k) + \underline{y}^*(k+1) \underline{x}(k+1)$$

【数37】

$$\underline{z}(k+1) = \underline{R}_x(k+1) \underline{w}(k+1) \approx f \cdot \beta(k)$$

$$\cdot \underline{z}(k) + \underline{x}(k) \cdot \underline{x}^H(k) \cdot \underline{v}(k+1)$$

上記数36と37によると、本発明で提示された方式の全体の計算量は約 $O(15N)$ ほどになる。これは瞬時信号方式の場合が約 $O(11N)$ なのに比べると、多少複雑度が大きいといえるが、本来の方式（自己相関行列を計算する方式）の場合が約 $O(3N^2 + 12N)$ なのに比べると、非常なる簡略化が成就されたことがわか

但し、 f は $0 < f \leq 1$ の忘却因子である。

【0102】従って、全体システムの複雑度の大部分を占めた二つの行列演算項は、つまり次のようなベクトル演算項に簡略化される。

【0103】

【数36】

る。

【0104】多様なコンピューター模擬試験の結果、上記数37と38に基づいて簡略化方式で設計した配列アンテナは干渉信号除去の面では、本来の方式とほとんど対等な性能をみせし、ビット誤謬確率の面でも約1.5倍ほどにしかならないので、大きく劣らないという事実が確認された。

【0105】また、配列アンテナ本来の特性の雑音電力 $1/N$ 減少性は前述した二つの方式と同一にみえることを確認した。

【0106】以下で、上記数36によって計算されるベクトルは“ガンマベクトル”、そして上記数37によって計算されるベクトルは“ゼータベクトル”と各々称する。

【0107】受信と送信をすべて考えた全体システムを具表するために、受信モードで上記に説明された要領に最適の位相遅延ベクトルを求めた後、その値を送信モードにそのまま適用して最適なシステムが具表される。

【0108】前述したように、本発明による最適の配列アンテナの全体設計及び信号処理過程は第2図の流れ図に簡単に図示されていて、その過程を簡略に整理すると次のようである。

【0109】即ち、本発明で提示する技術は所望の信号方向への利得は最大にして、その他の方向へは利得を最小化するビームパターンをもつ配列アンテナを提供するためのもので、このような目的を達成するために、本発明では二つの実施形態を提示する。

【0110】その一番目では配列アンテナの各アンテナ素子に加える位相遅延値を最適化する案が提示されて、二番目で各アンテナ素子にかかる複素利得値を最適化する案が提示される。上記二つはつまり理論的に等価的なものであるが、実施過程がちがう。

【0111】まず、本発明による配列アンテナを設計するにおいては、位相遅延ベクトルを利用して設計するのか、または利得ベクトルを利用して設計するのかを決定する(201)。

【0112】位相遅延ベクトルを利用して設計時、初期位相ベクトルを設定してから(203)、その位相遅延ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする(205)。

【0113】そして、現在のスナップショットが最終スナップショットかどうかを確認して(207)、最終スナップショットなら終了して、そうでないなら次のスナップショットを設定した後(209)、入力受信信号に基づいて自己相関行列を更新する(211)。

【0114】そして、自己相関行列の最大固有値(λ_{max})に相応する固有ベクトルの位相値に近接するように位相遅延ベクトルを更新する(213)。

【0115】そしてから、上記位相遅延ベクトルに基づいて信号を送受信する過程(205)に進行して、最終スナップショットまで順に上記過程(205、207、209、211、213)が反復して遂行されるようにするのである。

【0116】即ち、初期には基準アンテナ素子の位相を0にして以後の位相は各アンテナ素子に誘起される素子の位相と同じにすることにより、各アンテナ素子の間の位相差を無くすように初期位相ベクトル($\phi(0)$)を設定して(203)、以後には本発明で提示するものに基づいて自己相関行列の最大固有値(λ_{max})に相応する固有ベクトルの要素値などの位相値に近接するよう

に位相遅延ベクトル(ϕ)を毎スナップショットごとに算出して、これを利用して信号が送受信されるようにするのである。

【0117】一方、利得ベクトルを利用して設計する時には、まず初期利得ベクトルを設定してから(202)、利得ベクトルに基づいて信号が送受信されるようにする(204)。

【0118】そして、現在のスナップショットが最終スナップショットかどうかを確認して(206)、最終スナップショットなら終了して、そうでないなら、次のスナップショットを設定した後(208)、入力受信信号に基づいて自己相関行列を更新してから(210)、自己相関行列の最大固有値(λ_{max})に相応する固有ベクトルに近接するように利得ベクトルを更新する(212)。

【0119】そうしてから、上記利得ベクトルに基づいて信号を送受信する過程(204)に進めて、最終スナップショットまで順に上記過程(204、206、208、210、212)が反復遂行されるようにするのである。

【0120】即ち、初期に上記一番目の場合と同じように、各アンテナ素子に誘起された信号間の位相差を無くすように初期利得ベクトル($w(0)$)を設定して(202)、以後毎スナップショットごとに本発明で提示する過程に基づいて自己相関行列の最大固有値に対応する固有ベクトルの値に近接する利得ベクトル(w)を計算して信号の送受信に使用されるようにするのである(204、206、208)。

【0121】前述したように、理想的なビームパターンを提供する配列アンテナを移動通信システムの基地局に設ける場合、通信容量の増大及び通信品質の改善とともに基地局内のすべての端末機のバッテリー寿命を大幅に増大させる効果を得られる。

【0122】即ち、基地局では通信しようとする加入者の方向にだけ主ビーム(main lobe)を設定するから、従来技術による基地局の場合よりずっと高い送受信効率を達成できる。

【0123】従って、該当端末機の送信電力を大幅に低くしても、円滑な通信が遂行されるようになる。そして、このように端末機の送信電力を低くすることは、端末機のバッテリーの寿命延長に直結するのである。

【0124】＜最適配列アンテナを利用した信号送受信装置＞すでに前述したように、設計される配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させる信号送受信装置について説明するにおいては、信号環境によってちがうように、適用した各々の実施形態によって別に説明することにする。

【0125】(第1実施形態)本実施形態では原信号の大きさが各々干渉信号より強い信号環境で原信号方向に利得を最大化するために、位相遅延ベクトルを求めるか

ら、本発明の目的を達成する技術を説明する。

【0126】第3図は本発明の正しい第1実施形態による配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信装置を説明するための概略図で、図面で1は配列アンテナ、2は位相遅延部、3は遅延信号加算部、5は信号処理部を各々表したものである。

【0127】図面に図示されたように、本実施形態による信号受信装置は、多数のアンテナ素子(11)を具備して所定の位置と間隔に配列されて、受信信号が入力され後段の位相遅延部(2)及び信号処理部(5)に提供する配列アンテナ(1)と、上記配列アンテナ(1)から信号が入力され上記各アンテナ素子に誘起された信号を望まれるくらい位相遅延させる多数の位相遅延素子(21)を具備した位相遅延部(2)と、上記位相遅延部(2)を通して各々適切に位相遅延された各々の信号などを互いに足して上記配列アンテナの出力値を算出する遅延信号加算部(3)と、現在のスナップショットでの上記遅延信号加算部(3)の出力値と上記配列アンテナ(1)で得られた信号ベクトルを処理して適切な位相遅延値を上記位相遅延部(2)に提供する信号処理部(5)を含めている。

【0128】そうして、本受信装置は望まれる信号の方向に最大の利得を提供するビームパターンを形成するための位相遅延ベクトルを算出して信号を受信するから、所望の信号と干渉信号との大きさの差を更に大きくして干渉効果を大幅に減らすようにする。

【0129】特に、本実施形態による信号受信装置は信号環境自体が干渉信号が所望の信号より顕著に大きい場合に適合する。

【0130】第4図は、上記第1実施形態による信号受信装置(第3図参照)の信号処理部(5)の細部構成を表した一実施形態を示す図で、図面で51は誤差ベクトル合成部、52はスカラー合成部、53は追跡方向ベクトル合成部、54は適応利得合成部、55は位相遅延ベクトル更新部を各々表したものである。

【0131】図面に例示されたように、本実施形態による信号処理部(5)は、上記配列アンテナ(1)を形成する多数のアンテナ素子(11)と上記遅延信号加算部(3)の出力と直前スナップショットでの位相遅延ベクトルが入力されるように連結されて、上記位相遅延部(2)を形成する多数の位相遅延素子(21)が、その出力端に各々連結された誤差ベクトル合成部(51)と、上記誤差ベクトル合成部(51)の一側出力端に連結されたスカラー合成部(52)と、上記誤差ベクトル合成部(51)の他側出力端及び上記スカラー合成部(52)の出力端に連結された追跡方向ベクトル合成部(53)と、上記多数のアンテナ素子(11)と上記遅延信号加算部(3)と上記追跡方向ベクトル合成部(53)の出力及び直前スナップショットでの位相遅延ベクトルが入力されるように連結された適応利得合成部(5

4)と、上記追跡方向ベクトル合成部(53)及び上記適応利得合成部(54)の出力端に、その入力端が結ばれた出力端は、上記位相遅延部(2)を形成する多数の位相遅延素子など(21)に各々結ばれた位相遅延ベクトル更新部(55)を含む。

【0132】上記誤差ベクトル合成部(51)は、上記多数のアンテナ素子など(11)からの未遅延受信信号出力($x_1(t) \times x_2(t) \dots x_N(t)$)、位相遅延ベクトル($\phi_1 \dots \phi_N$)、及び上記遅延信号加算部(3)の出力($y(t)$)を入力され誤差ベクトル($r_1(t) \dots r_N(t)$)を出力する。

【0133】スカラー合成部(52)は、上記誤差ベクトル合成部(51)から誤差ベクトル($r_1(t) \dots r_N(t)$)を入力されスカラー値(β)を合成して追跡方向ベクトル合成部(53)で提供する。

【0134】追跡方向ベクトル合成部(53)は、上記誤差ベクトル($r_1(t) \dots r_N(t)$)及びスカラー値(β)を入力され追跡方向ベクトル(\underline{u})を出力する。

【0135】適応利得合成部は、上記多数のアンテナ素子など(11)からの未遅延受信信号出力($x_1(t) \times x_2(t) \dots x_N(t)$)、上記位相遅延ベクトル($\phi_1 \dots \phi_N$)、上記遅延信号加算部(3)の出力($y(t)$)、及び追跡方向ベクトル(\underline{u})を入力され適応利得(ρ)を合成して位相遅延ベクトル更新部(55)に提供する。

【0136】位相遅延ベクトル更新部(55)は上記追跡方向ベクトル(\underline{u})及び適応利得(ρ)を入力され位相遅延ベクトルを合成して更新された位相遅延ベクトル($\phi_1 \dots \phi_N$)を出力する。

【0137】第5図は上記第1実施形態による信号処理部(第4図参照)の誤差ベクトル合成部(51)の一実施形態細部構成である。

【0138】図面に図示されたように上記誤差ベクトル合成部は、毎スナップショットで上記各アンテナ素子(11)に誘起された信号などを上記位相遅延ベクトルに基づいて位相遅延させた結果、ベクトルの各要素の値を互いに足して得る上記配列アンテナの受信出力値($y(t)$)をかける乗算器(511)と、上記各アンテナ素子(11)に誘起された信号から得る信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の各要素に上記配列アンテナの受信出力値($y(t)$)をかける多数の乗算器(512)と、上記乗算器(511)によってかけられた出力値を上記位相遅延ベクトルの各要素値ほど位相遅延させる多数の位相遅延素子(513)と、上記多数の位相遅延素子(513)を通じて位相遅延させて得るベクトル値から、上記乗算器(512)などによってかけられた結果のベクトル値をひく多数の加算器(514)を含んでいて、上記各加算器(514)の結果を誤差ベクトルの各要素の値に決定する。

【0139】

【外3】

第5図に提示された誤差ベクトル合成部(51)は、上記第3図に提示されたような信号受信装置で受信された実際の信号値を周波数低域遅移しないで処理する装置である。第5図の誤差ベクトル合成部(51)はで究極的に進行しようとするのは、 $\underline{e}(J) = \underline{R}(J) - \lambda(J) \underline{u}(J)$ を満足する誤差ベクトル $\underline{e}(J)$ を算出するのである。

ただ、前で説明したように、自己相関行列を現在の入力信号(瞬時値)だけで計算するので、第5図のように簡略して具表される。従って、誤差ベクトル(\underline{r})は位相遅延ベクトル(ϕ)が固有ベクトルの位相で接近することにより、その大きさが0(zero)に収斂するようになる。

【0140】第6図は上記第1実施形態による信号処理部(第4図参照)のスカラ合成部(52)の一実施形態細部構成で、上記スカラ合成部(52)は、現在のスナップショットでの誤差ベクトルの各要素の大きさをかける多数の乗算器(521)と、上記誤差ベクトルの各要素の乗算値を全部足す加算器(522)と、以前のスナップショットでの上記加算器(522)出力で現在のスナップショットでの上記加算器(522)出力を除算する除算器(525)と、上記除算器(525)の結果出力に負符号(-)を加える符号変換器(526)を含む。

【0141】追跡方向ベクトル(\underline{u})更新時、直前スナップショットでの追跡方向ベクトル(\underline{u})をスカラ値(β)倍して、現在のスナップショットでの2次ベクトル(\underline{r})に足すことにより追跡方向ベクトル(\underline{u})を算出する。

【0142】第6図に提示されたように、スカラ値(β)を合成する究極的な目的は、毎スナップショットごとに算出されるすべての追跡方向ベクトル(\underline{u})などが互いに自己相関行列について直交されるようにするスカラ値(β)を計算することにある。従って、スカラ値(β)が正確に計算される場合に、最適な上記位相遅延ベクトルを最小の計算量で算出されるようにする。

【0143】第7図は上記第1実施形態による信号処理部(第4図参照)の追跡方向ベクトル合成部(53)の一実施形態細部構成を表したものである。

【0144】図面に図示されたように、上記追跡方向ベクトル合成部(53)は上記誤差ベクトル合成部(51)の各誤差ベクトル要素($r_1 \dots r_N$)出力端に各々一入力端が連結されて、その出力端に追跡方向ベクトル($v_1 \dots v_N$)を出力する多数の加算器(531)と、一入力端では上記加算器(531)を通じて出力される上記追跡方向ベクトルの各要素についた直前スナップショットでの値が入力され、他の一入力端では、上記スカラ値(β)が入力されかけた後、その結果値を上記加算器(531)で出力する多数の乗算器(532)を具備している。

【0145】そうして、最初のスナップショットでは上記誤差ベクトル合成部(51)から出力される誤差ベクトルを追跡方向ベクトルにして、二番目のスナップショット以後の場合は、上記乗算器(532)を利用して以前のスナップショットでの追跡方向ベクトルに上記スカラ値(β)をかけてから、上記加算器(531)を利用して上記乗算器(532)の出力値と現在のスナップショットでの誤差ベクトルを足して得る結果を、各々上記追跡方向ベクトルで合成して出力するのである。

【0146】第8図は上記第1実施形態による信号処理部(第4図参照)の適応利得合成部(54)の一実施形態細部構成図である。

【0147】図面に図示されたように、上記適応利得合成部(54)は上記信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の各要素と上記追跡方向ベクトルの各要素などを次々に結んだ多数の乗算器(541b)と、上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などをかけるための多数の乗算器(541a)と、上記追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素などの乗算値などを互いに足すための加算器(543a)と、上記追跡方向ベクトル(\underline{u})を現在のスナップショットでの上記位相遅延ベクトル(ϕ)ほど位相遅延させるための多数の位相遅延素子(542)と、上記位相遅延された追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素値などを互いに足すための加算器(543b)と、上記多数の乗算器(541b)の出力を互いに足すための加算器(543c)の出力をかけるための乗算器(544)と、現在のスナップショットでの配列アンテナの出力($y(t)$)と上記加算器(543c)の出力をかけるための乗算器(545)と、現在のスナップショットでの配列アンテナ出力値($y(t)$)をかけるための乗算器(546)と、上記加算器など(543a)(543b)と上記乗算器(544)(545)(546)の出力端に各々連結された適応利得計算部(547)を含む。

【0148】上記加算器(543c)の出力をAとし、上記Aと上記配列アンテナの受信出力値($y(t)$)を上記乗算器(545)出力をBとし、上記A値を上記乗算器(544)でかけた値をCとし、上記加算器(543b)の出力をDとし、上記加算器(543a)の出力をEとして、上記CとDの掛けから上記EとBをかけた値をひいたものをFとして、上記Eと配列アンテナ受信出力値の自乗($y^2(t)$)との掛けを、上記Cからひいた結果をGとして、上記Bから上記配列アンテナの受信出力値の自乗($y^2(t)$)をDとかけた結果をひい

たものをHとすると、上記適応利得計算部(547)は結論的に、Gの掛けからFとG掛けの4倍をひいた結果の自乗根(square root)を-Gから引いたものをさらにFの2倍で割った結果値、即ち【数38】

$$\rho = \frac{-G - \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F}$$

を適応利得(ρ)に合成して出力する。

【0149】ここで、 $F = CD - BE$ 、 $G = C - y_2(t)E$ 、 $H = B - y_2(t)DH$ である。

【0150】第9図は上記第1実施形態による信号処理部(第4図参照)の位相遅延ベクトル更新部(55)の一実施形態細部構成図である。

【0151】図面に図示されたように、上記位相遅延ベクトル更新部(55)は追跡方向ベクトルの各要素($v_1 \dots v_N$)出力端ごとに、上記該当追跡方向ベクトル要素(v_i)に上記適応利得合成部(54)から出力される適応利得値(ρ)をかける乗算器(551)と、上記受信信号($x(t)$)のキャリア周波数の信号を発生させる発振器(osc)の出力信号を直前スナップショットでの位相遅延ベクトル(ϕ)の各要素ほど位相遅延させるための多数の位相遅延素子(552)と、上記乗算器(551)の出力と上記位相遅延素子(552)の出力を足すための多数の加算器(553)と、上記加算器(553)の結果値から現在のスナップショットで使われる各要素の位相遅延を算出する位相検出器(554)を具備させて構成される。

【0152】そして、上記したように構成される上記位相遅延ベクトル更新部(55)は、現在のスナップショットで受信される信号ベクトル($x(t)$)の各要素を更新させて位相遅延ベクトルの各々の要素ほど第3図の位相遅延部(2)で位相遅延させた後、このように位相遅延された受信信号ベクトルの各要素を第3図の遅延信号加算部(3)で互いにたして現在のスナップショットで上記配列アンテナの出力を算出することにその目的がある。

【0153】第10図は上記第1実施形態による信号処理部(第4図参照)の位相遅延ベクトル更新部(55)の他の実施形態の細部構成図で、上記第9図に図示された位相遅延ベクトル更新部の各要素について構成に、付加的に正規化された位相遅延ベクトル値の出力のための素子などを各々更に具備させたものである。

【0154】本実施形態による位相遅延ベクトル更新部(55)は、図面に図示されたように、上記追跡方向ベクトルの各要素($v_1 \dots v_N$)出力端ごとに、乗算器(551)、位相遅延素子(552)、加算器(553)、及び位相検出器(554)を具備させた構成に、毎スナップショットごとに上記位相検出器(554)で計算された上記位相遅延ベクトルの一番目の要素(ϕ_1)と最後の要素(ϕ_N)の大きさを比べて、大きさが

小さい要素を選ぶ選択素子(555)と、上記位相検出器(554)の出力値で上記選択素子(555)によって選択された値をひいてから出力する加算器(556)を各々付加的に具備させたものである。

【0155】上記のように構成される上記位相遅延ベクトル更新部(55)は、位相遅延値を算出するにおいて、上記配列アンテナの基準アンテナ素子に加えられる位相遅延値は0にして、それ以後のすべてのアンテナ素子に加えられる位相遅延値は正の数になるようにするために、毎スナップショットごとに上記位相検出器(554)で計算される上記位相遅延ベクトルの一番目の要素(ϕ_1)と最後の要素(ϕ_N)の大きさを比べて、大きさが小さい要素を選んだ後、上記各位相検出器(554)の出力値からひいて得る値を正規化された位相遅延ベクトルの値で出力するものである。

【0156】参考的に、上記“基準アンテナ”は受信モードではいちばん遅い位相の信号が誘起されるアンテナ素子で、送信モードではいちばん位相が早い信号を放出するアンテナ素子である。即ち、これを物理的に説明すると、通信しようとする相手方から距離がもっとも遠い方のアンテナである(送受信全部)。

【0157】第11図は本発明の正しい第1実施形態による信号送信装置の一実施形態構成を説明するための構成図で、本実施形態による送信装置は、周知の送信装置でアンテナに印加する送信希望信号を上記信号処理部(前述した第3図の図面符号(5)参照)から前述した配列アンテナの各アンテナ素子(12)に順次的に一つづつ提供される該当位相遅延ベクトル($\phi_1 \dots \phi_N$)の各要素ほど遅延させた後、上記配列アンテナの該当アンテナ素子(12)に印加する多数の遅延素子(22)を具備している。

【0158】そして、本送信装置は上記信号処理部(5)で提供する位相遅延ベクトルについての各要素ほどの位相遅延($\phi_1 \dots \phi_N$)を送信しようとする信号に、各々付加して送信用のアンテナ素子(12)に加えて前述した受信モードで同じビームパターンを持つようにするから、上記アンテナ素子(12)から出力される送信信号を望まれる方向には最大の利得で放射させて、その他の方向には相対的に更に小さい利得に放射させるのである。

【0159】第12図は上記第1実施形態による信号送信装置のほかの実施形態構成を説明するための構成図で、本実施形態による送信装置は、上記第11図の信号送信装置の各アンテナ素子(12)についての構成に、正規化された位相遅延ベクトル値を提供するための素子などを付加的に各々更に具備させたものである。

【0160】即ち、上記遅延素子(22)各々に正規化された該当位相遅延ベクトル値を提供するために、毎スナップショットごとに位相遅延ベクトルの一番目の要素(ϕ_1)と最後の要素(ϕ_N)の大きさを比べて、大き

さが小さい要素を選ぶ選択素子(23)と該当位相遅延ベクトル値で上記選択素子(23)によって選ばれた値をひいて出力する加算器(556)を各々付加的に具備させたものである。

【0161】ここでも上記第10図の場合のように、上記位相遅延ベクトルは、配列アンテナの基準アンテナ素子に加える位相は0にして、それ以後のすべてのアンテナ素子に加える上記位相遅延値は正の数値に正規化させるために、毎スナップショットごとに位相遅延ベクトルの一番目の要素と最後の要素の大きさを比べて、大きさが小さい値を選んで、その結果を位相遅延ベクトルの各要素からひいて、その結果を上記アンテナ素子に加える位相遅延ベクトル値に決定するのである。

【0162】参考的に、前述した信号受信装置と信号送信装置は一つの装置に内装されて、上記受信用アンテナ素子など(11)及び送信用アンテナ素子など(12)は本発明による一つの配列アンテナに兼用される。

【0163】第13図は上記第1実施形態による配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信方法の一実施定遂行過程を説明するための流れ図である。

【0164】まず、前述したような配列アンテナを利用して初期信後土を受信して(1202)、初期位相ベクトル($\phi(0)$)を設定する(1204)。

【0165】それから、現在の動作モードが受信モードか、それとも送信モードかを確認する(1206)。

【0166】もし、受信モードなら配列アンテナの各アンテナ素子に更新された上記位相ベクトル(ϕ)ほどの位相遅延を加えて信号を受信する(1208)。そして送信モードなら、上記更新された位相ベクトル(ϕ)ほど上記配列アンテナの各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する(1210)。

【0167】それから、通信の終了か否かを確認する(1212)が、もし完了していないと判断して通信を続けようとする場合は、次のスナップショットを設定した(1214)後、上記配列アンテナで信号を受信して(1216)、受信された信号を瞬時値だけで処理するかどうかを確認して(1218)、瞬時値だけで処理する場合は、忘却因子(f)を'0'にして(1220)、そうでない場合は忘却因子を適切に設定する(1222)。

【0168】現在のスナップショットでの受信信号ベクトル($\underline{x}(k)$)に信号行列($\underline{x}(k) \underline{x}^H(k)$)を構成して、その信号行列の各要素などを直前のスナップショットでの自己相関行列($R(k-1)$)の各要素に上記忘却因子(f)をかけた値に各々足して、自己相関行列を更新する(1224)。

【0169】このとき、忘却因子(f)を'0'にする場合には、現在のスナップショットでの受信信号ベクトル($\underline{x}(k)$)となる信号行列($\underline{x}(k) \underline{x}^H(k)$)

自体が自己相関行列($R(k)$)になる。即ち、このような場合には、自己相関行列の更新は実際に作られる必要がなくなるのである。更新された自己相関行列の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように本明細書で提示される技術と、第2図で第11図に提示されるハードウェアを利用して位相ベクトル(ϕ)を更新する(1226)。

【0170】それから、更新された位相ベクトル(ϕ)をもって、上記のような送信モードかまたは受信モードかは確認過程(1206)から反復遂行する。

【0171】そうして、最終スナップショット遂行が完了されたことが確認されると(1212)遂行を終了する。

【0172】また、上記第1実施形態による配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信方法の他の実施形態では、前述した遂行過程中、毎回ごとに瞬時値だけでの処理か否かを問う過程(1218)を省略して実行される。即ち、前もって瞬時値だけで処理するように決定するとか、または任意に忘却因子を前もって所定値に設定しておくとか、スナップショットごとに上記のような瞬時値だけでの処理如何を毎回確認する必要がなく、毎スナップショットごとに忘却因子(f)を新しく設定しなくてもいい。もし、瞬時値だけで処理する場合なら、自己相関行列の計算自体も省略される。

【0173】また、上記第13図に提示された技術は送信モード及び受信モードで各々別に適用されるようになり、そのような場合、上記のように送信モードかまたは受信モードかを確認する過程も省略される。

【0174】前述した内容からわかるように、本実施形態の信号送受信方法は、特に信号環境自体が望まれる信号が各々の干渉信号より顕著に大きい場合に有用に活用される。

【0175】(第2実施形態) 前述した第1実施形態では、配列アンテナのビームパターンを最適にする(原信号方向には大きい利得を与えてその他の方向には小さい利得を与えるビームパターン)位相遅延ベクトルを計算する方式と装置をいつている。

【0176】本第2実施形態では各アンテナの位相を調節して配列アンテナのビームパターンを調整するかわりに最適のビームパターンを作る利得ベクトルを計算する方式と装置を紹介する。即ち、各アンテナ素子に誘起される信号に適当な複素利得を与え、配列アンテナ全体のビームパターンを調整するのである。従って、第1実施形態で必要とする位相遅延素子のかわりに複素利得をかける乗算器が必要になる。

【0177】第14図は本発明の正しい第2実施形態による配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信装置を説明するための概略図で、図面で1は配列アンテナ、7は受信部、8は内積計算部、9は信号処理部を各々表わすものである。

【0178】図面に図示されたように、本実施形態による信号受信装置は、多数のアンテナ素子など(11)を具備して、所定の位置と間隔に配列されて各アンテナ素子に誘起される受信信号を後段に印加する配列アンテナ(1)と、上記各アンテナ素子に誘起されて上記配列アンテナ(1)から出力される信号ベクトルについて周波数低域遷移、復調などの信号受信に必要な処理を行って、毎スナップショットごとに信号ベクトルを合成する受信部(7)と、上記受信部(7)から出力される信号ベクトルの各要素($x_1 \dots x_N$)と適切な値の利得ベクトルを内積して配列アンテナの出力値($y(t)$)を合成する内積計算部(8)と、上記受信部(7)から出力される信号ベクトルの各要素($x_1 \dots x_N$)を上記内積計算部(8)の出力値($y(t)$)を利用して処理し、適切な利得ベクトル値($w_1 \dots w_N$)を求めた後、上記内積計算部(8)に提供する信号処理部(9)を具備する。

【0179】そうして、本受信装置は受信部(7)、信号処理部(9)及び内積計算部(8)号構成されていて、受信部(7)で各アンテナ素子(11)に誘起された受信信号の周波数を低域に遷移して復調などの過程を経て受信信号ベクトル($\underline{x}(t)$)を作る。

【0180】本発明の技術をCDMA信号環境で使う場合には、復調された受信信号を望まれる信号に割当されたチップコードに相関する相関器も受信部(7)に含まれる。受信部(7)で出力された受信信号($\underline{x}(t)$)は信号処理部(9)と内積計算部(8)に加えられる。信号処理部(9)では現在のスナップショットで受信された受信信号($\underline{x}(t)$)と直前のスナップショットでの配列アンテナ出力信号($y(t)$)を利用して、最適の利得ベクトル(\underline{w})を算出する。算出された最適の利得ベクトル(\underline{w})は内積計算部(8)に億送られて内積計算部(8)が現在のスナップショットでの受信信号($\underline{x}(t)$)と利得ベクトル(\underline{w})を相互内積して次のスナップショットでの出力値($y(t)$)を算出する。本発明の核心部分は信号処理部(9)で、毎スナップショットで原信号方向には最大利得を形成して、その他の方向には小さい利得値を形成する、最も最適な利得ベクトル(\underline{w})を計算するから、究極的に配列アンテナのシステムに最適のビームパターンを提供する。

【0181】第15図は上記第2実施形態による信号受信装置の受信部(7)の位置実施形態細部構成図で、図面に図示されたように、本実施形態による受信部(7)は、各アンテナ素子(11)にキャリア周波数のコサイン項($\cos(2\pi fct)$)をかける第1乗算器(71)と、上記アンテナ素子(11)に誘起された信号にキャリア周波数のサイン項($\sin(2\pi fct)$)をかける第2乗算器(72)と、上記第1及び第2乗算器(71、72)の出力端に各々具備された低域成分の周波数だけを通過させる第1及び第2低域通過濾波器(7

3、74)と、上記第1及び第2周波数低域通過濾波器(73、74)で出力された各信号のコサイン(In-Phase)成分及びサイン(Quadrature)成分を受信希望信号に多重されているチップコード

【数39】

$$q^I_j(t), q^Q_j(t)$$

と相関させる第1及び第2相関器(75、76)と、上記第1相関器(75)の出力と上記第2相関器(76)の出力を足す多数の加算器(78)に構成されて、上記受信信号ベクトル($\underline{x}(t)$)を合成するのである。

【0182】そして、図面の一点鎖線内に具備された第1及び第2相関器(75、76)は拡散代役(spread spectrum)方式を使う通信環境下で本発明技術が実施される場合だけ要求される構成要素で、その他の通信方式環境ではこれらを除外した構成要素だけで受信部を構成される。

【0183】図面で

【数40】

$$q^I_j(t)$$

と

【数41】

$$q^Q_j(t)$$

はコード分割多重接続方式(CDMA)の通信環境下で使われるチップコードを表わす。下添字jは受信希望信号を表わすインデックスである。従って、入力信号が全部M個なら、jは1、2、…、M中の一つになり、j番目信号を受信しようとする状況で信号受信装置の受信部(7)は、上記のような構成に具表される。但し、コサイン(In-Phase)項のチップコード

【数42】

$$q^I_j(t)$$

とサイン(Quadrature)項のチップコード

【数43】

$$q^Q_j(t)$$

は場合によって同じ値に決定される。

【0184】また、実際に、正確なキャリア周波数信号のコサイン及びサイン項を作りにくいから、信号受信装置の受信部(7)を第16図に図示されたように、各アンテナ素子(11)に誘起された信号を中間周波数で低域遷移する中間周波数遷移器(79)と、上記中間周波数遷移器(79)から出力される低域遷移された信号を復調する復調器(80)と、上記復調器(80)で出力された各信号のコサイン(\cos)成分及びサイン(\sin)成分を受信希望信号に多重されているチップコード

【数44】

$$q^1_j(t), q^0_j(t)$$

と相関させる第1及び第2相関器(75、76)と、上記第1相関器(75)の出力と上記第2相関器(76)の出力を足す多数の加算器(78)に構成するから、各アンテナ素子(11)に誘起された信号を中間周波数に低域遷移した後、低域遷移された信号を復調する形態の信号受信部を具表される。

【0185】ここで、上記復調器(80)は前もって決めた中間周波数で作動して、受信信号をこの中間周波数代役に低域遷移するための中間周波遷移器(79)が各アンテナ素子(11)に結ばれる。上記復調器(80)から出力されるコサイン及びサイン成分は第1及び第2相関器(75、76)で入力されて望まれる信号に割当されたチップコードと各々相関される。

【0186】この度同じく、図面の一点鎖線内に具備された第1及び第2相関器(75、76)は拡散代役(spread spectrum)方式を使う通信環境下でだけ要求される構成要素で、その他の通信方式環境ではこれらを除外した構成要素だけで受信部を構成される。

【0187】第17図は、上記第2実施形態による信号受信装置の信号処理部の一実施形態構成ブロック図で、毎スナップショットごとに上記受信部(70)から出力される上記信号ベクトル($\underline{x}(t)$)と上記内積計算部(8)からの出力値($y(t)$)と現在のスナップショットでの利得ベクトル値(\underline{w})を入力され誤差ベクトルを計算して出力する誤差ベクトル合成部(91)と、上記誤差ベクトル合成部(91)から誤差ベクトルを入力され追跡方向ベクトルの合成に必要なスカラー値を合成して出力するスカラー合成部の出力を入力され上記追跡方向ベクトルを合成して出力する追跡方向ベクトル合成部(93)と、上記信号ベクトル($\underline{x}(t)$)、追跡方向ベクトル(\underline{v})、内積計算部(8)の出力値($y(t)$)、及び現在のスナップショットでの利得ベクトル値(\underline{w})が各々入力され、毎スナップショットごとの適応利得を求めて出力する適応利得合成部(94)と、現在のスナップショットでの追跡方向ベクトル及び適応利得値を各々入力され利得ベクトルを更新する利得ベクトル更新部(95)を含む。

【0188】信号処理部の究極的な目的は、最適のビームパターンを提供する上記利得ベクトルを算出して内積計算部(8)に出力するから、内積計算部(8)で現在のスナップショットでの受信信号ベクトル($\underline{x}(t)$)と上記利得ベクトル(\underline{w})を相互内積して配列アンテナのシステムの最終出力 $y(t)$ を生成するようにする。第1実施形態の信号処理部では最適の位相遅延ベクトル($\underline{\phi}$)を算出して、各アンテナ素子に位相遅延を加えて究極的に望まれるビームパターンを得たが、今度の第2実施形態では信号処理部では位相遅延ベクトルの代わり

に最適の利得ベクトル(\underline{w})を算出して、同じ目的を達成している。

【0189】第18図は上記第17図に図示された信号処理部(9)の誤差ベクトル合成部(91)の一実施形態細部構成をみせたものである。

【0190】図面に図示されたように、上記誤差ベクトル合成部(91)は、上記内積計算部(8)から出力される出力値($y(t)$)の大きさをかけるための乗算器(911)と、上記受信部(7)から印加される信号ベクトルの各要素に上記内積計算部(8)から出力される出力値($y(t)$)の複素共役をかけるための多数の乗算器(912)と、上記乗算器(911)によってかけられた出力値を利得ベクトルの各要素にかけけるための多数の乗算器(913)と、上記利得ベクトルの各要素に割当された乗算器(913)の該当要素出力値で上記信号ベクトルの各要素に割当された乗算器(912)の各出力値をひくための減算器(914)を含む。

【0191】第18図に図示された装置が究極的に遂行するのは、次の条件を満足する誤差ベクトル(\underline{r})である。

【0192】

【数45】

$$\underline{r} = |y(t)|^2 \underline{w} - \underline{x}(t) y^*(t)$$

但し、 $\underline{x}(t)$ 、 $y(t)$ 、 \underline{w} は現在のスナップショットでの受信信号ベクトル、配列アンテナシステムの出力値(内積計算部で出力される)、そして利得ベクトルである。上添*は複素共役演算子である。第18図に例示された装置及び式(21)は自己相関行列Rを瞬時受信信号 $\underline{x}(t) \cdot \underline{x}^H(t)$ に近似化した結果である。

【0193】第19図は上記第17図に図示された信号処理部(9)の適応利得合成部(94)の一実施形態細部構成図である。

【0194】図面に図示されたように、上記適応利得合成部(94)は上記受信信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の各要素を複素共役して、上記追跡方向ベクトル(\underline{v})の各要素などと次々にかけるための多数の乗算器(941)、上記多数の乗算器(941)の出力を互いに足すための加算器(946)、上記追跡方向ベクトル(\underline{v})の各要素などの絶対値掛けを求めるための多数の乗算器(942)、上記乗算器など(942)の出力を互いに足すための加算器(945)、上記追跡方向ベクトル(\underline{v})の各要素と上記利得ベクトルの各要素を複素共役を次々にかけるための多数の乗算器(943)、上記乗算器など(943)の出力を互いに足すための加算器(944)、上記加算器(946)の出力をかけるための多数の乗算器(949)、上記内積計算部(8)の出力($y(t)$)と上記加算器(946)の出力をかけるための乗算器(947)、上記内積計算部(8)の出力値($y(t)$)についた絶対値掛けを求めるための多数の乗算器(948)(実際回路においては本乗算器(9

48)と上記第18図に図示された乗算器(911)を兼用される)、上記加算器(944、945)及び乗算器(947、948、949)の出力端に各々連結された適応利得計算部(950)を含む。

【0195】そして、信号ベクトルと追跡方向ベクトルを内積した結果(加算器(946)出力)をAとし、上記Aと配列アンテナの出力値をかけた結果(乗算器(947)出力)をBとして、上記Aの自乗(乗算器(949)出力)をCとして、利得ベクトルと追跡方向ベクトルを内積した結果(加算器(944)出力)をDとして、追跡方向ベクトルとそれ自身の内積(加算器(945)出力)をEとすると、上記適応利得計算部(950)では適応利得 ρ を

【数46】

$$\rho = \frac{-G - \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F}$$

のように求める。

【0196】ここで、 $F = C \cdot \text{Re}[D] - B \cdot \text{Re}[E]$ 、 $G = C - y_2(t)E$ 、 $H = \text{Re}[B] - y_2(t) \cdot \text{Re}[D]$ で、 $\text{Re}[\cdot]$ は複素数“ \cdot ”の実数(real number)部を意味する。

【0197】第20図は上記第17図に図示された信号処理部(9)の利得ベクトル更新部(95)の一実施形態細部構成図で、現在のスナップショットでの追跡方向ベクトルと適応利得値をかけるための多数の乗算器(951)と、以前のスナップショットでの利得ベクトルと上記乗算器(951)の出力値を足すための多数の加算器(952)を具備している。

【0198】従って、上記利得ベクトル更新部が毎J番目のスナップショットごとに次のように利得ベクトルを更新している：

$$\underline{w}(J+1) = \underline{w}(J) + \rho(J)\underline{u}(J)$$

但し、次のスナップショットでの利得ベクトル(\underline{w})の値は、現在の利得ベクトルの値を追跡方向ベクトルの方向に適応利得ほどの大きさに変化させて決定するという意味になる。

【0199】第21図は上記第17図に図示された信号処理部(9)の利得ベクトル更新部(95)の他の実施形態細部構成図で、配列アンテナを構成するアンテナ素子の数をNとすると、上記多数の加算器(952)の各出力値などを、基準アンテナ素子に連結された加算器(952)出力値を N の平方根で割る多数の除算器(953)を上記第20図の構成に追加して、更新される利得ベクトルを正規化するのである。

【0200】これは上記第20図に図示された利得ベクトル更新部と対比してみると、次のような差異点があることがわかる：一番目、上記基準アンテナ素子にかかる利得がいつも1になるようにして、基準アンテナ素子に

誘起される受信信号には位相遅延を加えない。

【0201】二番目、上記利得ベクトル(\underline{w})の大きさを1に正規化させる。

【0202】即ち、本図に図示された利得ベクトル更新部(95)は毎J番目スナップショットごとに、次のように利得ベクトルを更新する：

【数47】

$$\underline{w}(J+1) = \frac{\underline{w}(J) + \rho(J) + \underline{u}(J)}{\sqrt{Nw_1(J+1)}}$$

但し、 $w_1(J+1)$ は更新した利得ベクトルの、 $(\underline{w}(J) + \rho(J) + \underline{u}(J))$ 、一番目要素である。

【0203】即ち、 $w_1(J+1)$ は次のスナップショットで基準アンテナ素子に受信される信号のための利得値である。

【0204】第22図は上記第2実施形態による信号処理部(第17図参照)のスカラ合成部(92)の一実施形態細部構成図で、上記誤差ベクトルの各要素の絶対値をかけるための多数の乗算器(921)と、この乗算器など(921)の出力を互いに足すための加算器(922)と、以前のスナップショットでの上記加算器(922)出力で現在の加算器(922)出力を割る除算器(923)と、上記除算器(923)の出力に負符号(-)を加える符号変換器(924)に構成されている。

【0205】上記スカラ合成部(92)では、次のような式でスカラ値(β)を算出している：

【数48】

$$\beta = - \frac{|\underline{x}(J+1)|^2}{|\underline{x}(J)|^2}$$

本図に図示されたスカラ合成部(92)で算出するスカラ値(β)は以前のスナップショットでは追跡方向ベクトル(\underline{u})にかけて誤差ベクトルと足して現在のスナップショットでの追跡方向ベクトルを計算するのに使う。このように、スカラ値(β)を算出する究極的な目的は、上記第1実施形態でのスカラ合成部(92)の場合と同じように、すべてのスナップショットでの追跡方向ベクトルなどが全部自己相関行列に対して直交されるようにする。

【0206】第23図は上記第2実施形態による信号受信装置(第14図参照)の信号処理部(9)の他の実施形態構成ブロック図で、図面に図示されたように、誤差ベクトル合成部(91)、スカラ合成部(92)、追跡方向ベクトル合成部(93)、適応利得合成部(94)、及び利得ベクトル更新部(95)になれる第16図の信号処理部(9)構成に、自己相関行列発生部(96)及び最大固有値合成部(97)を更に具備させて構成したものである。

【0207】上記自己相関行列発生部(96)は毎スナップショットごとに信号ベクトルをうけて自己相関行列を計算して出力し、上記最大固有値合成部(97)は上

記自己相関行列発生部(96)で出力される現在のスナップショットでの上記自己相関行列の最大固有値を推定する。

【0208】誤差ベクトル合成部(91)は毎スナップショットごとに上記自己相関行列発生部(96)で出力する自己相関行列、上記最大固有値合成部(97)で出力する最大固有値、及び現在のスナップショットでの利得ベクトル値を各々入力され誤差ベクトルを合成して出力する。

【0209】スカラー合成部(92)は、上記誤差ベクトル合成部(91)の出力の誤差ベクトルを入力され追跡方向ベクトルの合成に必要なスカラー値を合成して出力する。

【0210】追跡方向ベクトル合成部(93)は上記誤差ベクトル及びスカラー値を入力され追跡方向ベクトル

を合成して出力するので、その細部構成は第7図の構成と同じである。

【0211】適応利得合成部(94)は自己相関行列、追跡方向ベクトル、現在のスナップショットでの上記最大固有値、及び利得ベクトル値を各々入力され毎スナップショットごとの適応利得を求めて出力するのである。

【0212】そして、利得ベクトル更新部(95)は毎スナップショットごとに上記追跡方向ベクトル及び適応利得値を基盤に上記利得ベクトルを更新するのである。

【0213】第24図は上記第23図に図示された信号処理部(9)の誤差ベクトル合成部(91)の一実施形態細部構成図である。

【0214】

【外4】

本図に図示された誤差ベクトル合成部は、上記自己相関行列発生部(96)で前述した式(4)に基づいて毎スナップショットごとに更新する自己相関行列値を根拠として、現在のスナップショットでの利得ベクトル(\underline{w})及び推定最大固有値(λ_{\max})を利用して誤差ベクトルを合成するので、上記自己相関行列(\underline{R})の各行の各要素と利得ベクトルの各要素を次々にかけるための多数の乗算器など(982)と、各行に連結されている乗算器など(982)の出力を互いに足す自己相関行列の行数ほどの加算器など(983)と、現在の推定最大固有値(λ_{\max})と利得ベクトルの各要素をかけるための多数の乗算器など(981)と、この乗算器など(981)各々の出力から上記加算器など(983)の出力を次々にひくための多数の加算器など(984)に構成されている。

従って、上記誤差ベクトル合成部(91)で合成する誤差ベクトル(\underline{e})は

$$\underline{e} = \lambda \underline{w} - \underline{R} \underline{w}$$

に基づいて計算されている。

第25図は上記第23図に図示された信号処理部(9)の最大固有値合成部(97)の一実施形態細部構成図である。

図面に図示されたように、最大固有値合成部(97)は、上記自己相関行列発生部(96)で毎スナップショットごとに更新する自己相関行列値及び現在のスナップショットでの利得ベクトル(\underline{w})を利用して最大固有値(λ)を合成するので、上記自己相関行列(\underline{R})の各行の各要素と現在のスナップショットでの利得ベクトルの各要素をかけるための多数の乗算器など(992)と、該当行に連結されている乗算器など(992)の出力を全部たして出力する多数の加算器など(993)と、同じ行に具備された上記加算器(993)の出力と該当行の利得ベクトル要素の複素共役(\underline{w}^*)をかけて出力する多数の乗算器など(994)と、各行に対して一つずつ具備される上記多数のこの乗算器など(994)の出力などを全部足した値を現在の推定最大固有値(λ)に出力する加算器(995)で構成されていて、毎スナップショットごとに正規化された上記利得ベクトルについて、次のように最大固有値(λ)を推定する。

$$\lambda = \underline{w}^H \underline{R} \underline{w}$$

第26図は上記第23図に図示された信号処理部(9)の適応利得合成部(94)の一実施形態細部構成図である。

【0215】本図に図示された適応利得(ρ)合成部は、自己相関行列の各行の各要素と追跡方向ベクトルの

各要素とをかけるための多数の乗算器など(261)と、自己相関行列の各行の各要素などと追跡方向ベクトルの要素などとをかけた値(上記乗算器など(261)の出力)を互いに足す自己相関行列の行数ほどの加算器など(262)と、上記加算器など(262)各々の出

力と利得ベクトルの各要素の複素共役をかけるための多数の乗算器など(263)と、上記乗算器など(263)の出力を全部足す加算器(265)と、上記加算器など(262)各々の出力と追跡方向ベクトルの各要素の複素共役をかける多数の乗算器など(264)と、上記乗算器など(264)の出力を全部足す加算器(266)と、追跡方向ベクトルの各要素と利得ベクトルの各要素の複素共役を互いにかけるための多数の乗算器など(267)と、上記乗算器など(267)の出力を全部足す加算器(268)と、追跡方向ベクトルの各要素とその複素共役をかける多数の乗算器など(269)と、上記乗算器など(269)の出力を全部足す加算器(270)と、上記加算器(265)の出力をA、他の加算器(266)の出力をB、他の加算器(268)の出力をC、それから余りの他の加算器(270)の出力をDとすると、上記A、B、C、Dの値を各々入力され計算する適応利得計算部(271)に構成されている。

【0216】上記適応利得計算部(271)では毎スナップショットごとに入力される上記A、B、C、Dの値を利用して、次のように適応利得(ρ)を算出している：

【数49】

$$\rho = \frac{-F - \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E}$$

但し、 $E = B \cdot \text{Re}[C] - D \cdot \text{Re}[A]$ 、

$F = B - \lambda \cdot D$ 、

$G = \text{Re}[D] - \lambda \cdot \text{Re}[C]$

また、上記のように、A、B、C、Dを算出する場合、その値は次のように決められる：

$A = \underline{w} H R \underline{u}$ 、 $B = \underline{u} H R \underline{u}$ 、 $C = \underline{w} H \underline{u}$ 、 $D = |\underline{u}|$

2
第27図は上記第2実施形態による信号受信装置(第14図参照)の信号処理部(9)の他の実施形態構成ブロック図である。

【0217】本実施形態では、前述した一番目の実施形態(第17図参照)と二番目の実施形態(第23図参照)の長短所を折衝した方法で、システムの複雑図面では上記一番目の実施形態より劣勢であるが、上記二番目の実施形態よりは簡略で、全体的な性能の面では二番目の実施形態より少し劣勢であるが、上記一番目の実施形態よりは優秀な結果を送出する利得ベクトルを計算する信号処理部(9)を紹介する。

【0218】図面に図示されたように、第23図に図示された自己相関行列発生部(96)を行列計算近似部(136)に代置したものを除外すると、前述した二番目の実施形態の信号処理部(9)と同じ構造をもつ。

【0219】上記行列計算近似部(136)では自己相関行列の値を直接計算するかわりに毎スナップショットごとに自己相関行列が含まれる二つの行列演算をベクトル演算に近似させて遂行して遂行結果の上記ガンマベク

トルとゼータベクトルを最大固有値合成部(137)と誤差ベクトル合成部(131)、そして適応利得合成部(134)に各々出力する。従って、上記最大固有値合成部(137)、誤差ベクトル合成部(131)、適応利得合成部(134)各々の一入力が、前述した二番目の実施形態(第23図参照)でのように自己相関行列自体ではなくて、上記ベクトル演算に近似された行列演算の結果ベクトル(ガンマベクトルとゼータベクトル)だけ除外すると、各機能部の入出力及び全体的な構造が第23図に図示された実施形態の信号処理部と同じである。

【0220】第28図は上記第27図に図示された行列計算近似部(136)の一実施形態細部構成をみせたものである。図面に図示されたように上記行列計算近似部(136)は、受信部(7)から印加される信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の各要素に内積計算部(8)から出力される出力値($y(t)$)の複素共役を各々かけるための多数の乗算器(1401)と、以前のスナップショットでのガンマベクトルの各要素と上記忘却因子(f)をかけるための多数の乗算器(1403)と、以前のスナップショットでのゼータベクトルの各要素と上記忘却因子(f)をかけるための多数の乗算器(1408)と、上記乗算器(1408)と出力と上記適応利得合成部(134)の出力の適応利得(ρ)をかけるための多数の乗算器(1410)と、上記乗算器(1410)の出力と他の上記乗算器(1403)の出力を各々足すための多数の加算器(1404)と上記加算器(1404)の出力と上記乗算器(1401)の出力を足すための多数の加算器(1402)と、上記受信部(7)から印加される信号ベクトル($\underline{x}(t)$)の複素共役の各要素と上記追跡方向ベクトル合成部(133)の出力の追跡方向ベクトル(\underline{u})の各要素をかけるための多数の乗算器(1405)と、上記乗算器(1405)の出力を全部足す加算器(1411)と、上記加算器(1411)の出力と上記信号ベクトルの各要素をかけるための多数の乗算器(1406)と、他の上記乗算器(1408)の出力と上記スカラー値(β)をかけるための多数の乗算器(1409)と、上記乗算器(1409)の出力を他の上記乗算器(1406)の出力を各々足すための多数の加算器(1407)などに構成されていて、上記加算器(1402)の出力をガンマベクトル($\underline{\gamma}$)にして、上記最大固有値合成部(137)と誤差ベクトル合成部(131)で出力して、上記加算器(1407)の出力をゼータベクトル(\underline{z})にして上記適応利得合成部(134)で出力する。

【0221】第29図は上記第27図に図示された最大固有値合成部(137)の一実施形態細部構成をみせたものである。図面に図示されたように上記最大固有値合成部(137)は第28図に図示された行列計算近似部(136)から印加されるガンマベクトル($\underline{\gamma}$)の現在

のスナップショットでの利得ベクトル (w) の各要素を複素共役をかける多数の乗算器 (1501) と、上記乗算器の出力を足すための加算器 (1502) に構成されて上記加算器 (1502) の出力を上記最大固有値 (λ) に出力する。

【0222】第30図は上記第27図に図示された誤差ベクトル合成部 (131) の一実施形態細部構成をみせたものである。図面に図示されたように上記誤差ベクトル合成部 (131) は上記最大固有値合成部 (137) から最大固有値 (λ) を受けて現在のスナップショットでの利得ベクトル (w) の各要素とかけするための多数の乗算器 (1601) と、上記乗算器 (1601) の出力から上記追跡方向ベクトル (v) の各要素をひくための減算器 (1602) を含む。

【0223】上記第27図に図示された信号処理部が積極的に逆行するのは次の条件を満足する誤差ベクトル (r) である。

$$【0224】 r = \lambda w - \underline{v}$$

但し、 λ は上記最大固有値合成部 (137) の出力、 w は現在のスナップショットでの利得ベクトル、 \underline{v} は上記行列計算近似部の二つの中で一つのガンマベクトルである。

【0225】第31図は上記第27図に図示された信号処理部の適応利得合成部 (134) の一実施形態細部構成図である。

【0226】図面の図示されたように、上記適応利得合成部 (134) は、上記追跡方向ベクトル (v) の各要素などの絶対値掛けを求めるための多数の乗算器 (1704)、上記乗算器 (1704) の出力を互いに足すための加算器 (1708)、上記追跡方向ベクトル (v) の各要素と上記利得ベクトルの各要素の複素共役を次々にかけるための乗算器 (1703)、上記乗算器など (1703) の出力を互いに足すための加算器 (1707)、上記ゼータベクトル (z) の各要素と上記利得ベクトル (w) の複素共役の各要素をかけるための多数の乗算器 (1701) と、上記乗算器など (1701) の出力を足すための加算器 (1705) と、上記ゼータベクトル (z) の各要素と上記追跡方向ベクトル (v) の複素共役をかける多数の乗算器など (1702)、上記乗算器 (1702) の出力を全部足す加算器 (1706) と、上記加算器など (1705、1706、1707 及び 1708) の出力端に連結された適応利得計算部 (1709) を含む。

【0227】そして、上記加算器 (1705) の出力を A として、上記加算器 (1706) の出力を B とし、上記加算器 (1707) の出力を C として、上記加算器 (1708) の出力を D とすると、上記適応利得計算部 (1709) では適応利得 ρ を

【数50】

$$\rho = \frac{-F - \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E}$$

ここで、但し、 $E = B \cdot \text{Re}[C] - D \cdot \text{Re}[A]$ 、 $F = B - \lambda \cdot D$ 、 $G = \text{Re}[A] - \lambda \cdot \text{Re}[C]$ で λ は上記最大固有値で、 $\text{Re}[\cdot]$ は複素数 “ \cdot ” の実数部 (real part) を意味する。

【0228】また、上記のようにする場合、

$$A = wH \cdot \underline{z}$$

$$B = \underline{v}H \cdot \underline{z}$$

$$C = wH \cdot \underline{v}$$

$$D = \underline{v}H \cdot \underline{v}$$

である。

【0229】第32図は、本発明の正しい実施形態による信号送信装置のアンテナ構造を説明するための概略図で、本実施形態によって送信装置は前述した第1実施形態による送信装置と同じように、周知の送信装置でアンテナに出力する送信信号を上記信号処理部 (前述した第14図の図面符号 (9) 参照) から前述した配列アンテナの各アンテナ素子 (12) に順次的に一つずつ提供される各要素の該当利得ベクトル $w_1 \dots w_N$ 各要素の位相ほどの位相差を上記配列アンテナの該当アンテナ素子 (12) に印加する多数の遅延素子 (22) を具備している。

【0230】そして、本送信装置は上記信号処理部 (9) で提供する利得ベクトルの各要素の位相成分ほどの位相差を送信しようとする信号に、各々付加して各々の送信用アンテナ素子 (12) に加えて前述した受信モードで同じビームパターンをもつようにして、上記アンテナ素子 (12) から出力される送信信号を望まれる方向には最大の利得で放射させて、その他の方向には相対的に最も小さい利得で放射させるのである。

【0231】参考的に、ここでは上記第1実施形態で同じように (第12図構成参照)、上記第32図の信号送信装置の各アンテナ素子 (12) について構成に正規化された位相遅延ベクトル値を提供するための素子などを付加的に各々更に具備させられる。

【0232】即ち、上記遅延素子 (22) 各々に正規化された該当利得ベクトル値を提供するために、毎スナップショットごとに利得ベクトルの一番目の要素 (w_1) と最後の要素 (w_N) の大きさを比較して大きさが小さい要素を選択する選択素子と、該当利得ベクトル値で上記選択素子によって選択されたものをひいて、出力する加算器を各々付加的に具備させられるのである (前述した第12図の説明欄参照)。

【0233】また、前述した信号受信装置と上記信号送信装置は一つの通信装置に内装されて、上記送信用アンテナ素子など (11) 及び送信用アンテナ素子など (12) は、本発明による一つの配列アンテナに兼用される。

【0234】第33図は上記第2実施形態による、配列

アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた方法を説明するための流れ図で、スペクトラム拡散通信で配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させる方法を説明する順序図である。

【0235】本実施形態による信号送受信方法ではまず、前述したような配列アンテナ(1)を利用して初期信号を受信する(2802)。信号を受信する過程(2802)には周知の技術の同調、周波数低域遷移及び復調過程が含まれるが、この過程などにはすでによく知られてよく使われているから、本明細書では言わないことにした。

【0236】このとき、受信される信号は $\underline{x}(t)=[x_1(t)x_2(t)\cdots x_N(t)]^T$ で、ここで $t=kTs$ で、 Ts はスナップショット周期である。

【0237】それから、上記受信部(7)で、望まれる信号のチップコードと上記受信信号 $\underline{x}(t)$ を相互相関させる(2804)。

【0238】また、上記信号処理部(9)で初期位相ベクトル($\underline{w}(0)$)を設定する(2806)。

【0239】それから、現在の動作モードが受信モードか送信モードかを確認する(2808)。

【0240】もし、受信モードなら相関器出力を上記複素利得ベクトル $\underline{w}(k)$ に内積させて、現在のスナップショットでの受信信号に決定する(2812)。

【0241】そして、送信モードなら、上記更新された複素利得ベクトル($\underline{w}(k)$)の位相成分ほど上記配列アンテナ(1)の各アンテナ素子で送信信号を位相遅延させて送信する(2810)。

【0242】それから、通信を続けるべきかどうかを確認して(2814)、最終スナップショットでなければ、次のスナップショットを設定して(2816)、上記配列アンテナ(1)を利用して信号を受信する(2818)。

【0243】同じように、このとき受信される信号は次のようである。

【0244】 $\underline{x}(t)=[x_1(t)x_2(t)\cdots x_N(t)]^T$

ここで、瞬時値だけで処理する場合には、自己相関行列値を計算する過程自体が存在しないようになる。即ち、上記数31の説明欄でいわれたように、 $\underline{R}(k)=\underline{x}(k)\cdot\underline{x}^H(k)$ の計算過程自体が必要ではなくなる。

そして、前述したように、上記受信部(7)で望まれる信号のチップコードと上記受信信号 $\underline{x}(t)$ を相互相関させる過程(2804)と、上記信号処理部(5)で望まれる信号のチップコードと上記受信信号 $\underline{x}(t)$ を相互相関させる過程(2820)は、拡散代役(spread spectrum)方式を使う通信環境下でだけ要求される過程で、其の他の通信方式環境ではこれらを除外した過程だけで易しく遂行される。

【0253】また、信号環境が原信号が各干渉信号より遥かに大きい場合なら、本提案技術を応用するために、

それから、上記信号処理部(5)で望まれる信号のチップコードと上記受信信号 $\underline{x}(t)$ を相互相関させる(2820)。

【0245】そして、上記信号処理部(9)で瞬時値だけで処理するかどうかを確認して(2822)、瞬時値だけで処理する場合は忘却因子(f)を'0'にして(2814)、そうでない場合は忘却因子を適切に設定する(2826)。

【0246】それから、自己相関行列を更新するのに(2828)、このとき更新される上記自己相関行列 $\underline{R}(k)$ は次のようである。

【0247】

【数51】

$$\underline{R}(k)=f\cdot\underline{R}(k-1)+\underline{x}(k)\underline{x}^H(k)$$

ここで、 f は忘却因子として0と1の間の値である。

【0248】それから、上記自己相関行列の最大固有値に該当する固有ベクトルに近接するように複素利得ベクトル($\underline{w}(k)$)を更新する(2830)。

【0249】そして、更新された利得ベクトル($\underline{w}(k)$)をもって、さらに上記送受信モード判断過程(2808)にもどって反復遂行できるようにする。

【0250】そうして、ついに最終スナップショットまで遂行を完了したことが確認されると(2814)、遂行を終了する。

【0251】また、上記第2実施形態による配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信方法の他の実施形態では、前述した遂行過程中、毎回ごとに瞬時値だけでの処理可否かを問う過程(2808)を省略して実行される。即ち、前もって瞬時値だけで処理するように定めておくとか、または毎回忘却因子を設定するように決めておくと、毎スナップショットごとに上記のような瞬時値だけでの処理可否かを問わなくてもなされるのである。

【0252】

【外5】

ここで、瞬時値だけで処理する場合には、自己相関行列値を計算する過程自体が存在しないようになる。即ち、上記数31の説明欄でいわれたように、 $\underline{R}(k)=\underline{x}(k)\cdot\underline{x}^H(k)$ の計算過程自体が必要ではなくなる。

信号受信過程(2802。同調、周波数低域遷移、及び復調過程)以後チップコード相関(2804)を省略されて、これは拡散代役信号環境ではない一般的な信号環境で、原信号の強さが各干渉信号より大きい場合に本提案技術を適用する方法になる。

【0254】前述した過程からよくわかるように、本実施形態の信号送受信方法も前述した第2実施形態の場合と同じように、チップ相関過程を含めているから、拡散代役(spread spectrum)通信方式などに易しく適用されて、特にコード分割多重方式(CDM

A)に適用するのいちばん適合する。

【0255】第34図は多数(M名)加入者が通信しようとする場合のための本発明による信号通信システムの一実施形態具現例示図で、通信希望者各々の受信希望信号を受信する受信装置を第2図、または第14図のような受信装置を利用して各々具現して上記配列アンテナに接続して各々希望する受信信号を同時に受信して各々の受信希望信号が入射する方向には最大の利得に受信して、其の他の方向には相対的に更に小さい利得に受信される。

【0256】第35図は多数(M名)加入者が通信しようとする場合のための本発明による信号送信システムの一実施形態具現例示図で、通信希望者各々の送信希望信号を配列アンテナに接続することによってして各々希望する送信信号を同時に送信して、各々の送信希望信号のビームパターンを受信モードで同一にして、各々の送信信号を望まれる方向には最大の利得に放射して、其の他の方向には相対的に更に小さい利得に放射する。

【0257】第34図に表した受信用システムと第35図に表した送信用システムを一つの通信システムに具表されることもあるし、上記受信用システムのアンテナ素子と上記送信用システムのアンテナ素子を一つのアンテナ素子に兼用されることもある。

【0258】さらに、添付図面第36(a)及び(b)図を参照して、本発明による配列アンテナを実際の通信環境に適用した場合の性能をみる。

【0259】第36(a)図及び第36(b)図は、本発明による配列アンテナをフェーディングが存在するQPSKデジタル移動通信環境に適用時、干渉及び雑音の影響を改善される程度をみせるグラフで、アンテナ素子が12個の線形配列アンテナを同時に適用したときの干渉信号及び雑音電力の減衰能力を各々表したものである。

【0260】図面を通じてわかるように、雑音電力はアンテナ素子各々の入力端でみたときと比較して配列アンテナの出力端で約1/12に減ったことがわかった。即ち、雑音電力は前で説明したように、アンテナの数ほど減らされるのが確認される。

【0261】干渉信号については、元信号の入射角によって少し差はあるが、最大約12.7dBの改善を得られる。これは平均的に干渉信号の電力が本発明による配列アンテナ出力端で平均的に約0.054倍に減らす事実を意味する。

【0262】また、前述したように、本発明によるによると、毎スナップショットごとに全体の計算量が約 $0(3N^2+12N)$ に、既存のどんな方法よりも計算量が著しく少ない。

【0263】それに、本発明で忘却因子の値(数15)を0にする場合、即ち、現在のスナップショットでの信号値だけを考える場合、全体計算量は $0(11N)$ に画

期的に減らす。このように忘却因子を0にする場合、原信号と干渉信号の比率は約9dB程度改善される。最適の忘却因子を使う場合(最適の忘却因子値は0.8または0.99の値である)原信号干渉信号の電力比率において、約12dB程度の改善を得られたし、忘却因子を0にして全体過程を簡略する場合には約9dB程度の改善を得た。

【0264】結果的に、現在のスナップショットだけを考慮して全体過程を画期的に簡略しても、原信号の雑音電力はN倍改善されることがわかる(Nは配列アンテナを構成しているアンテナ素子の数である)。

【0265】また、瞬時信号値だけで処理する場合に発生する性能減衰を考慮して、本発明で提示される行列計算近似法を適用すると、毎スナップショットごとに自己相関行列を計算して信号を処理する場合に比較しても、前述したように、ほとんど大同小異の性能を得られる。この場合、所要計算量は約 $0(15N)$ で、瞬時信号だけで信号を処理する場合よりは少し多いけれど、自己相関行列を毎スナップショットごとに求める場合よりは顕著にシステム複雑度と要求計算量を減らすのがわかる。

【0266】

【発明の効果】従って、前述したような本発明は、次のような効果をもつ。

【0267】原信号の受信レベルが干渉信号各々の受信レベルより高い信号環境で原信号レベル対干渉信号レベルの差異を更に増加させて、付加雑音の強さを著しく減少させられる。

【0268】それだけではなく、受信装置で求めた位相遅延ベクトルを送信装置にもそのまま使うから、送信信号の望まれる方向にだけ最大の利得に放射させて、その他の方向には相対的に更に小さい利得に放射させられる。

【0269】また、本発明は配列アンテナを利用して干渉及び雑音の影響を著しく減らすから、通信品質を向上させて、通信容量を増加させて、従前の方式よりその計算量を著しく減らすから、汎用DSPチップ(digital signal processing chip)でも実時間処理を可能にするとても優秀な発明である。

【0270】以上で説明した本発明は、提示された実施形態及び添付図面に限定されるのではなくて、本発明の技術思想の範囲内で本発明が属する技術分野の熟練者によってなされるいろいろな置換、変形及び変更も本発明の範囲に属するのである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による最適配列アンテナの構造及び作用をみせるための概念図。

【図2】本発明による最適配列アンテナの全体設計及び信号処理過程構造及び作用を概略的に表した流れ図。

【図3】本発明の正しい第1実施形態による、配列アン

テナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号受信装置を説明するための概略図。

【図4】上記第1実施形態による信号処理部の一実施形態細部構成図。

【図5】上記第1実施形態による信号処理部の誤差ベクトル合成部の一実施形態細部構成図。

【図6】上記第1実施形態による信号処理部のスカラー合成部の一実施形態細部構成図。

【図7】上記第1実施形態による信号処理部の追跡方向ベクトル合成部の一実施形態細部構成図。

【図8】上記第1実施形態による信号処理部の適応利得合成部の一実施形態細部構成図。

【図9】上記第1実施形態による信号処理部の位相遅延ベクトル更新部の一実施形態細部構成図。

【図10】上記第1実施形態による信号処理部の位相遅延ベクトル更新部についての他の実施形態細部構成図。

【図11】本発明の正しい第1実施形態による、信号送信装置の一実施形態構成を説明するための概略図。

【図12】上記第1実施形態による、信号送信装置の他の実施形態構成を説明するための概略図。

【図13】上記第1実施形態による、配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号送受信方法を説明するための流れ図。

【図14】本発明の正しい第2実施形態による、配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた信号受信装置を説明するための概略図。

【図15】上記第2実施形態による信号受信装置受信部の一実施形態細部構成図。

【図16】上記第2実施形態による信号受信装置受信部の他の実施形態細部構成図。

【図17】上記第2実施形態による信号受信装置の信号処理部の一実施形態構成ブロック図。

【図18】上記第17図に図示された信号処理部の誤差ベクトル合成部の一実施形態細部構成図。

【図19】上記第17図に図示された信号処理部の適応利得合成部の一実施形態細部構成図。

【図20】上記第17図に図示された信号処理部の利得ベクトル更新部の一実施形態細部構成図。

【図21】上記第17図に図示された信号処理部の利得ベクトル更新部の他の実施形態細部構成図。

【図22】上記第17図に図示された信号処理部のスカラー合成部細部構成図。

【図23】上記第2実施形態による信号受信装置信号処理部の他の実施形態構成を表したブロック図。

【図24】上記第23図に図示された信号処理部の誤差ベクトル合成部の一実施形態細部構成図。

【図25】上記第23図に図示された信号処理部の最大

固有値合成部の一実施形態細部構成図。

【図26】上記第23図に図示された信号処理部の適応利得合成部の一実施形態細部構成図。

【図27】第2実施形態による信号受信装置の信号処理部の他の実施形態構成を表したブロック図。

【図28】上記第27図に図示された行列計算近似部の一実施形態細部構成図。

【図29】上記第27図に図示された最大固有値合成部の一実施形態細部構成図。

【図30】上記第27図に図示された誤差ベクトル合成部の一実施形態細部構成図。

【図31】上記第27図に図示された信号処理装置の適応利得合成部の一実施形態細部構成図。

【図32】本発明の正しい第2実施形態による、信号送信装置のアンテナ構造を説明するための概略図。

【図33】上記第2実施形態による配列アンテナを利用して干渉及び雑音を減衰させた方法を説明するための流れ図。

【図34】多数加入者が通信しようとする場合のための本発明による信号通信システムの一実施形態具現例示図。

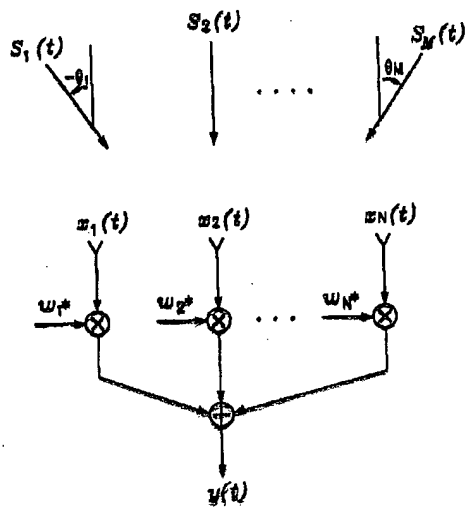
【図35】多数加入者が通信しようとする場合のための本発明による信号通信システムの一実施形態具現例示図。

【図36】本発明による配列アンテナをフェーディングが存在するQPSKデジタル移動通信環境に適用時、干渉及び雑音の影響を改善させる程度をみせるグラフ。

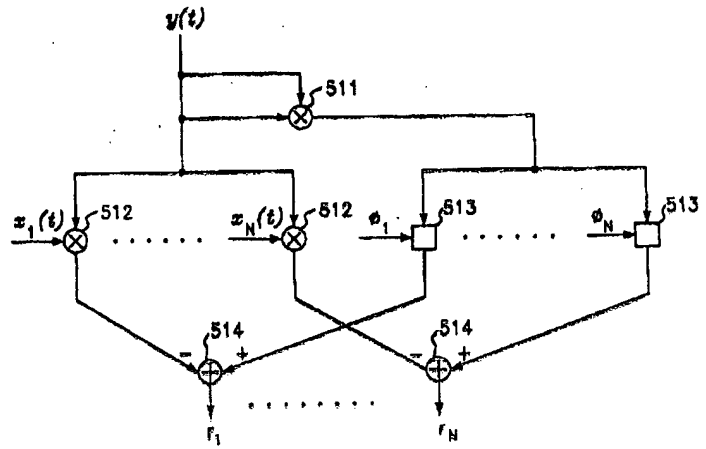
【符号の説明】

- 1：配列アンテナ
- 2：位相遅延部
- 3：遅延信号加算部
- 5：信号処理部
- 6：受信部
- 9：信号処理部
- 8：内積計算部
- 11：アンテナ素子
- 12：アンテナ素子
- 21、22：位相遅延素子
- 51、91：誤差ベクトル合成部
- 52、92：スカラー合成部
- 53、93：追跡方向ベクトル合成部
- 54、94：適応利得合成部
- 55：位相遅延ベクトル更新部
- 95：利得ベクトル更新部
- 96：自己相関行列発生部
- 97：最大固有値合成部

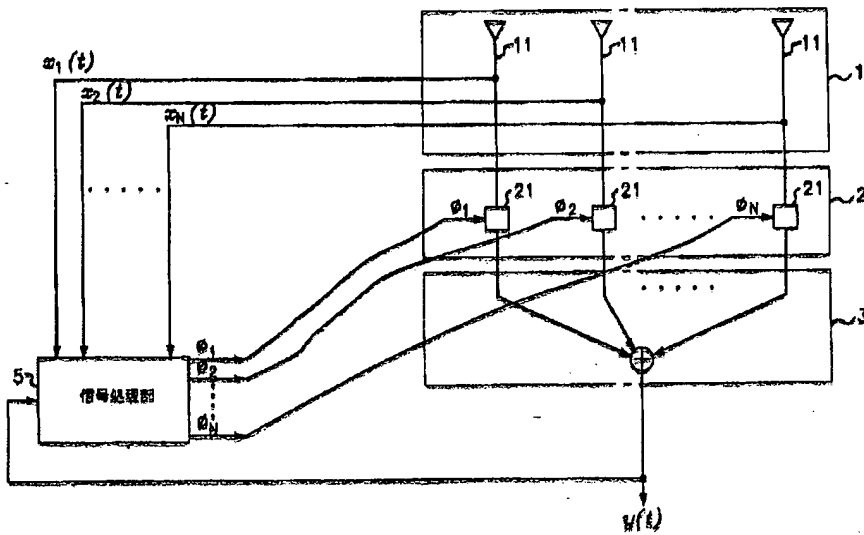
【図1】



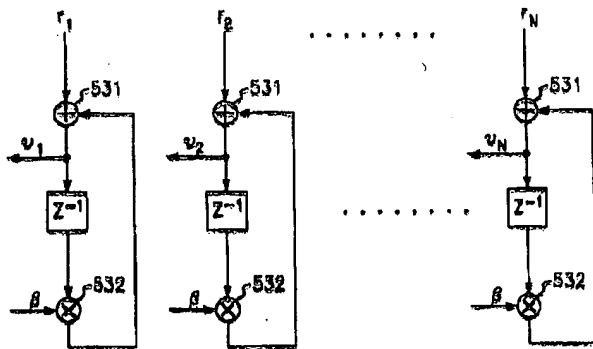
【図5】



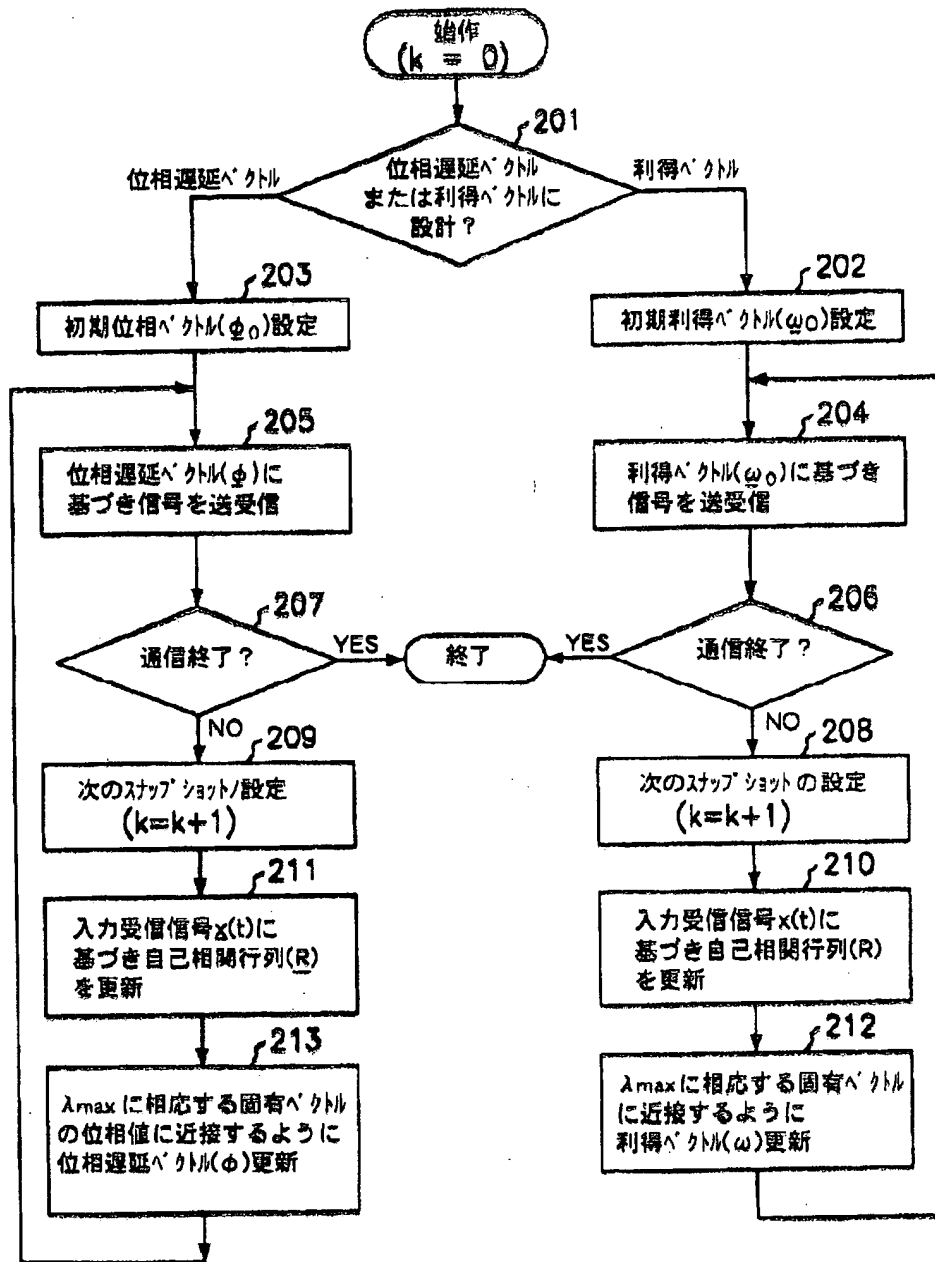
【図3】



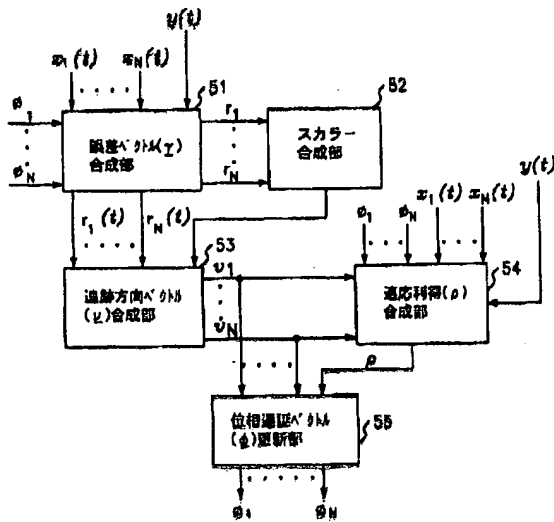
【図7】



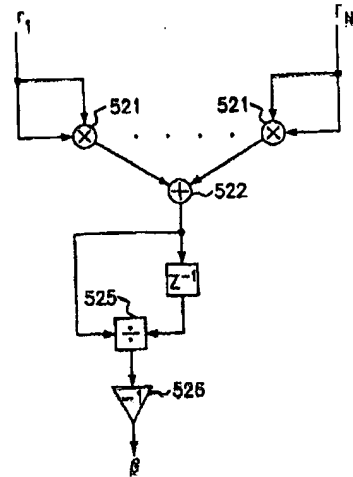
【図2】



【図4】

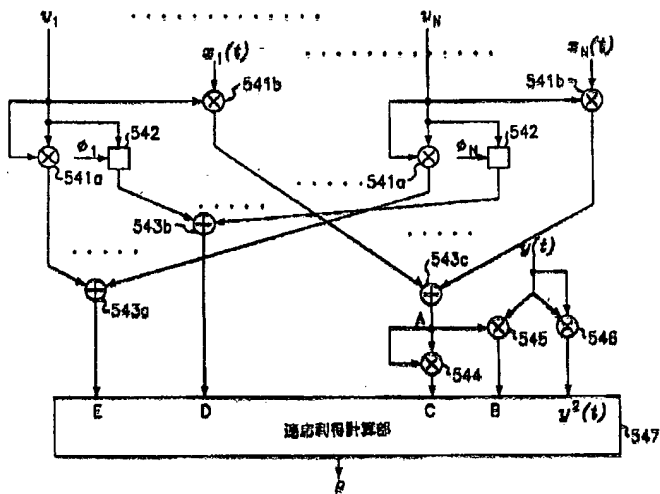


【図6】

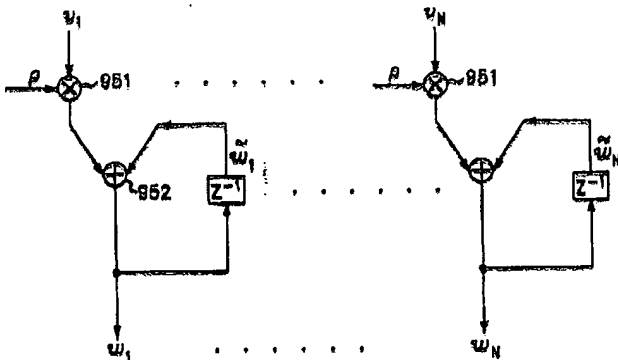


【図11】

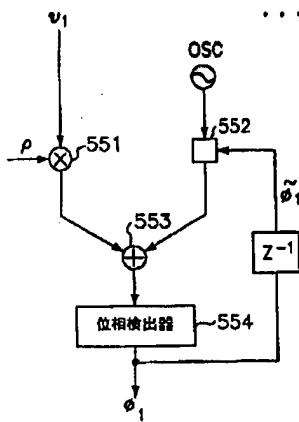
【図8】



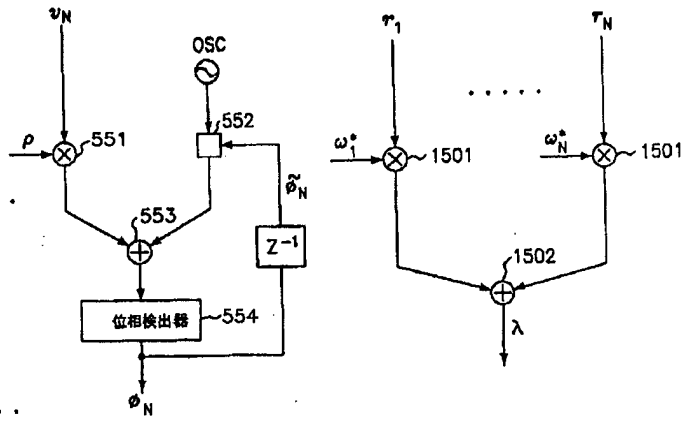
【図20】



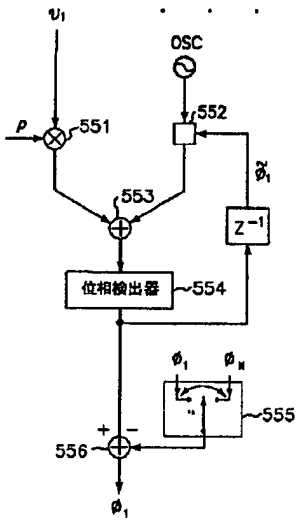
【図9】



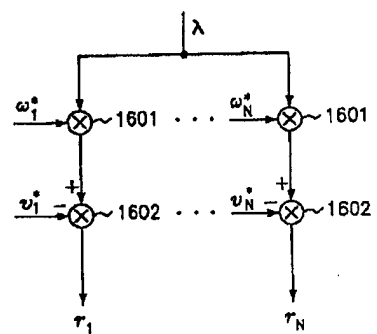
【図29】



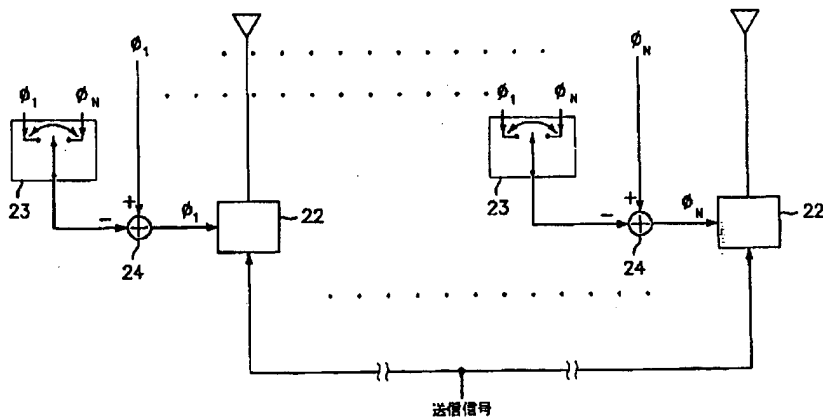
【図10】



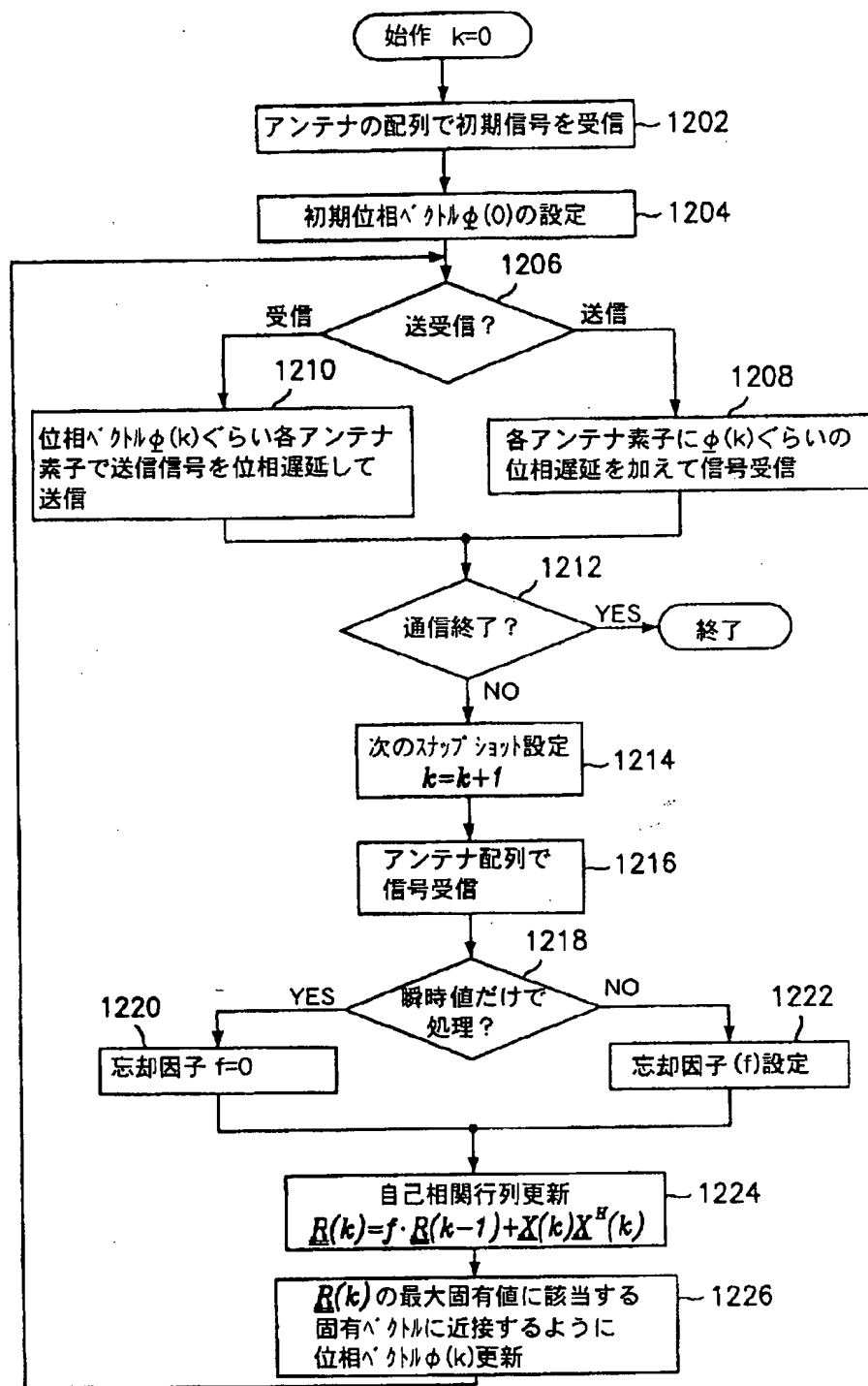
【図30】



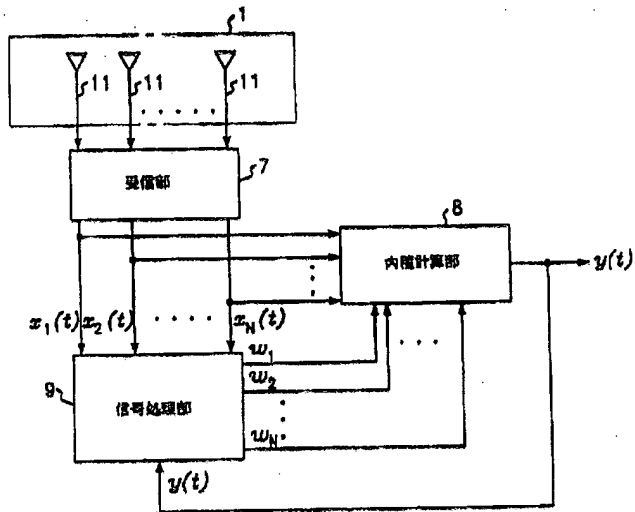
【図12】



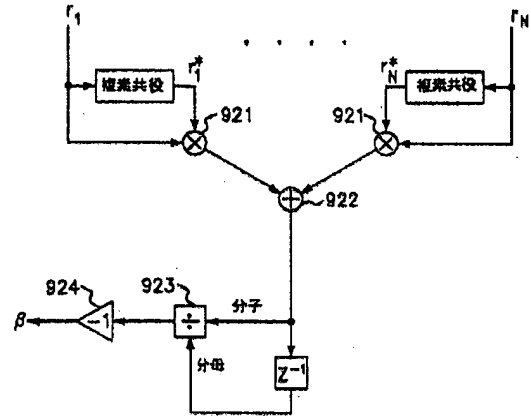
【図13】



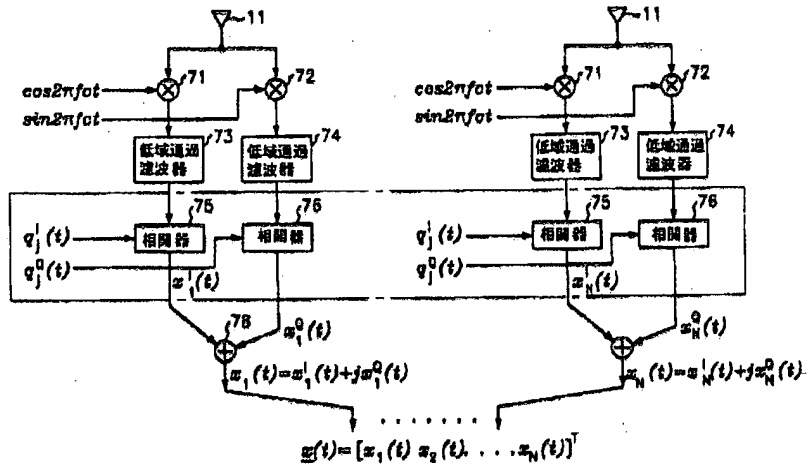
【図14】



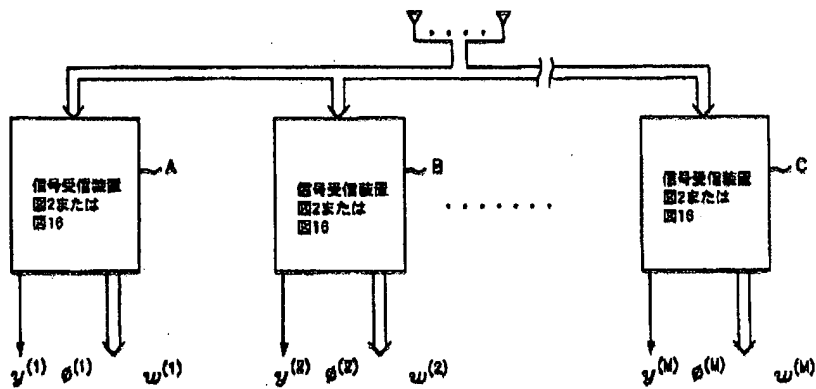
【図22】



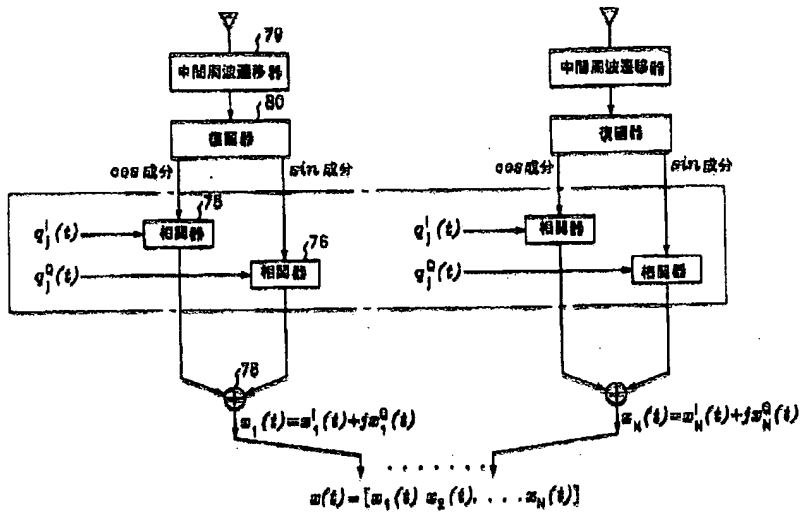
【図15】



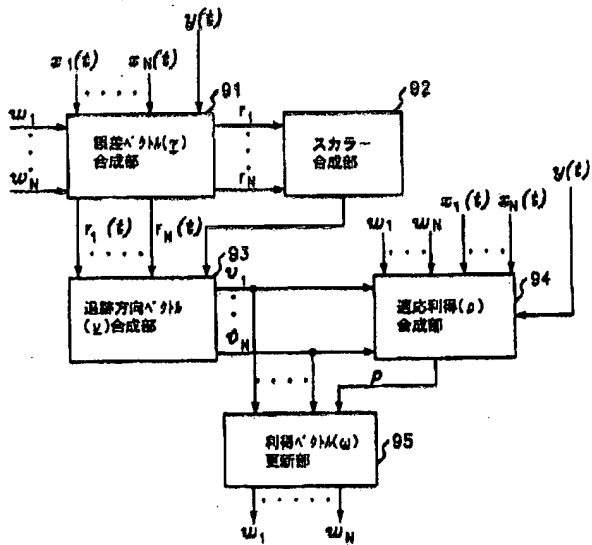
【図34】



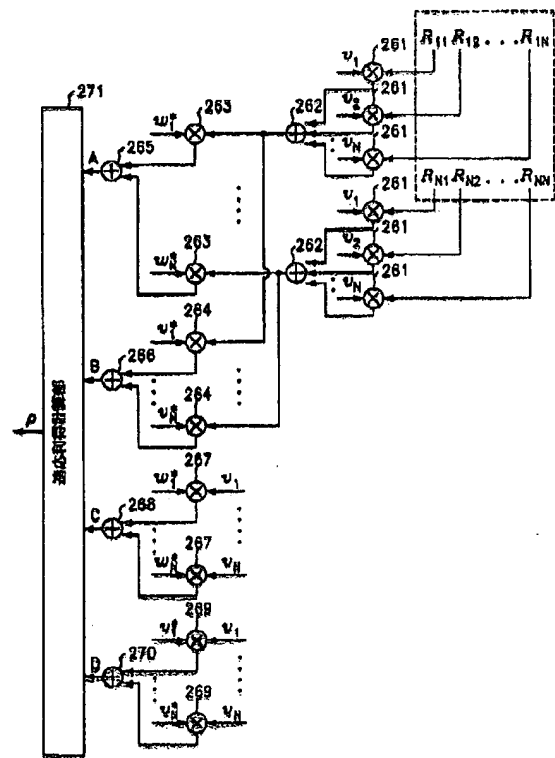
【図16】



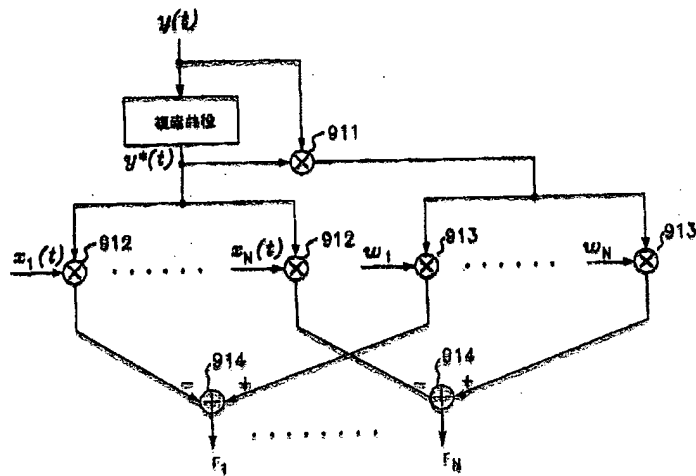
【図17】



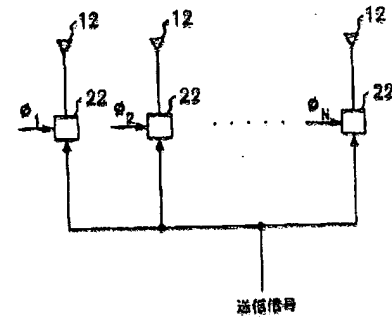
【図26】



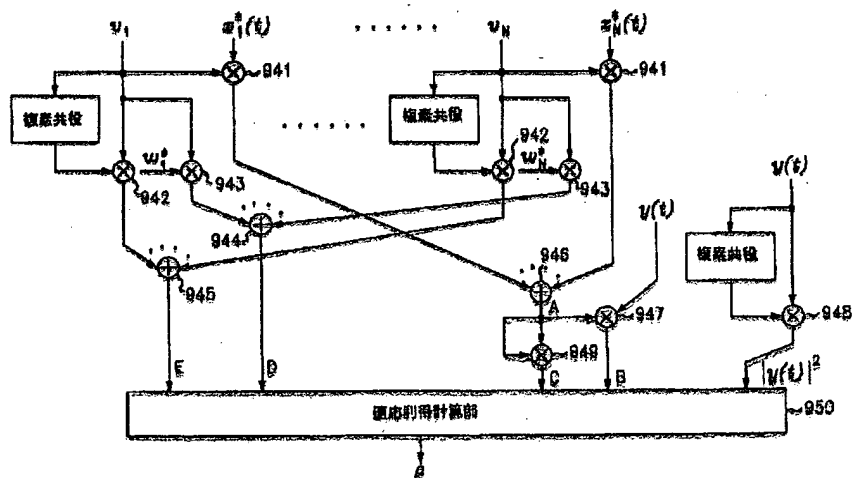
【圖18】



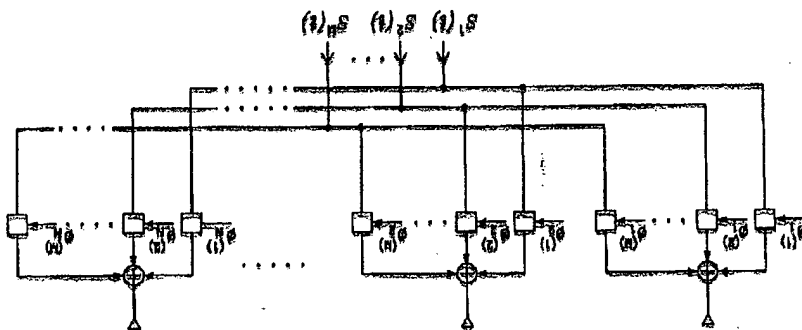
【圖32】



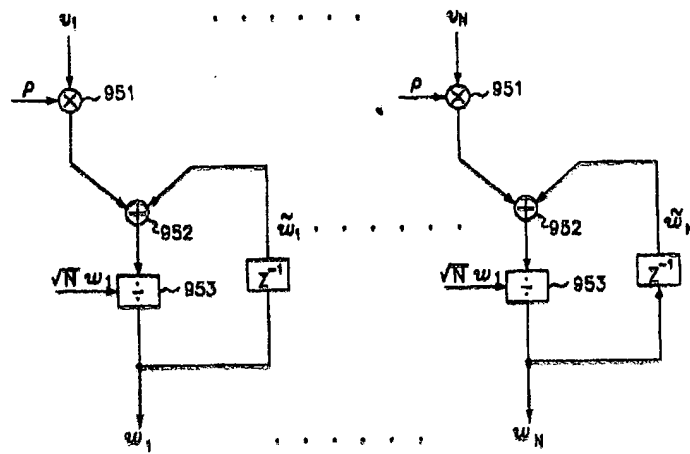
【圖19】



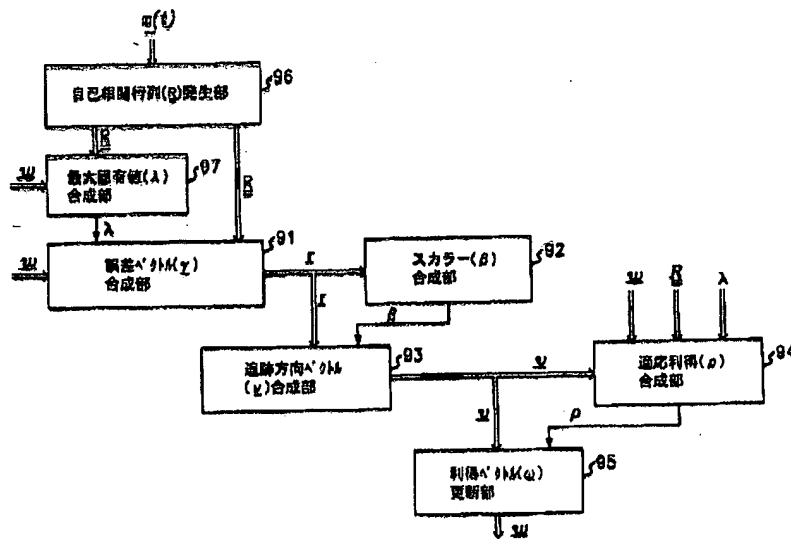
【圖35】



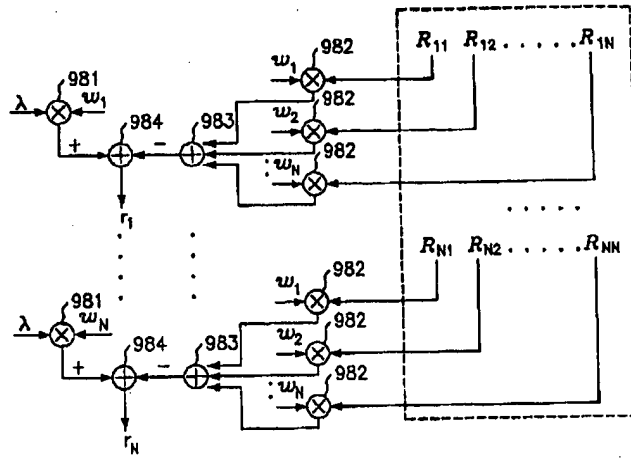
【図21】



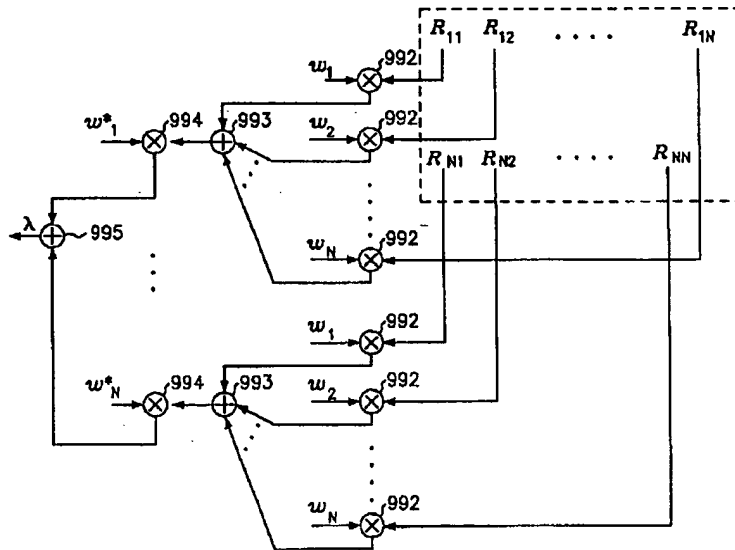
【図23】



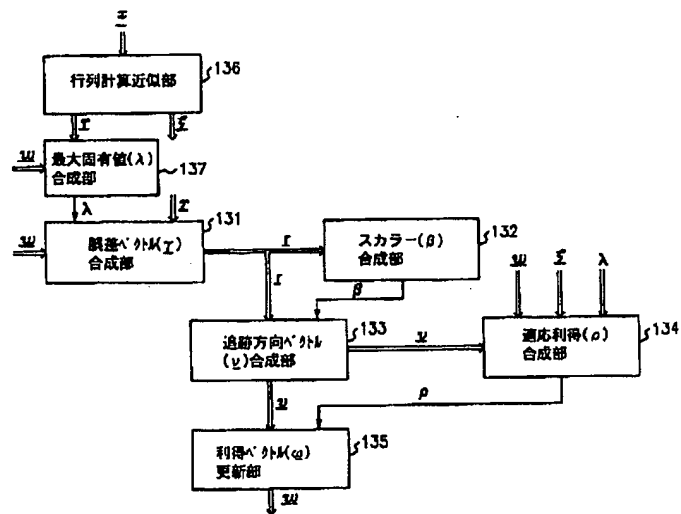
【図24】



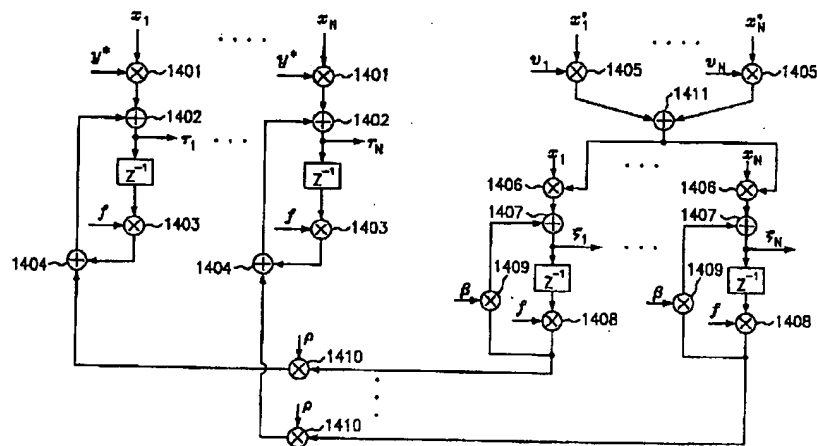
【図25】



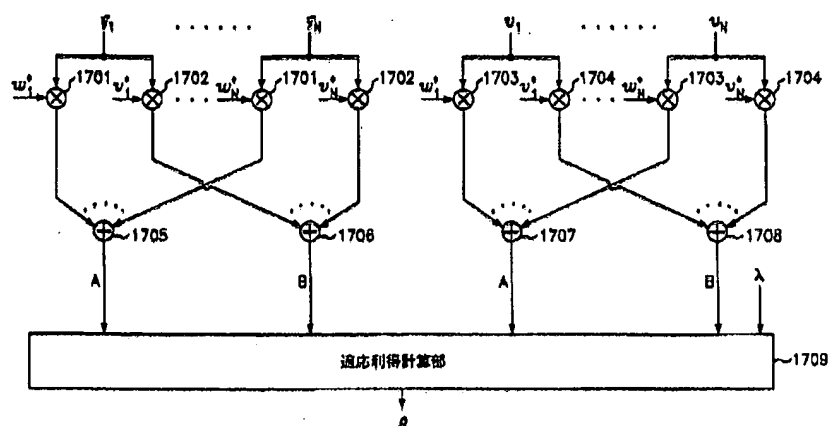
【图27】



【图28】

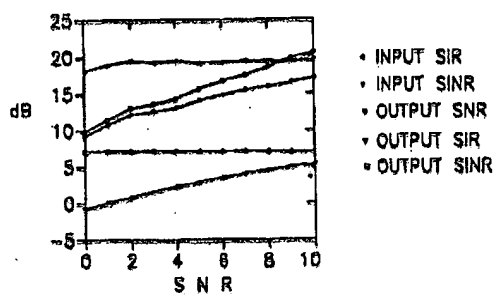


【図31】

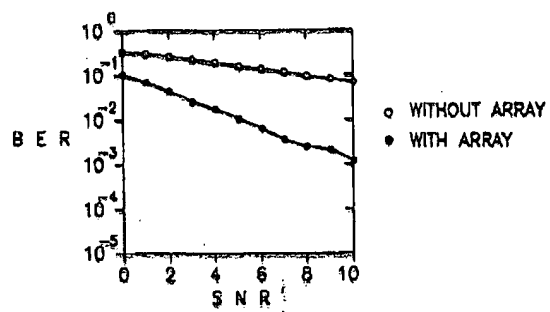


【図36】

(A)



(B)



【図33】

